



EIXO TEMÁTICO:

- | | | |
|---|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente e Sustentabilidade | <input type="checkbox"/> Crítica, Documentação e Reflexão | <input type="checkbox"/> Espaço Público e Cidadania |
| <input type="checkbox"/> Habitação e Direito à Cidade | <input type="checkbox"/> Infraestrutura e Mobilidade | <input type="checkbox"/> Novos processos e novas tecnologias |
| <input type="checkbox"/> Patrimônio, Cultura e Identidade | | |

Desenvolvimento de um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da luz natural e sua influência sobre a eficiência energética

Development of a simplified method to assess the dynamic performance of daylight and its influence on energy efficiency

Desarrollo de un método simplificado para la evaluación del desempeño dinámico de la luz natural y su influencia sobre la eficiencia energética

MORAES, Letícia Niero (1);

PEREIRA, Fernando Oscar Rutkkay (2)

(1) Doutoranda, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC – PósARQ, Florianópolis, SC, Brasil; email: letícia@labcon.ufsc.br

(2) Professor Pós-Doutor, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC – PósARQ, Florianópolis, SC, Brasil; email: feco@arq.ufsc.br

Desenvolvimento de um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da luz natural e sua influência sobre a eficiência energética

Development of a simplified method to assess the dynamic performance of daylight and its influence on energy efficiency

Desarrollo de un método simplificado para la evaluación del desempeño dinámico de la luz natural y su influencia sobre la eficiencia energética

RESUMO

Apesar dos benefícios amplamente reconhecidos da iluminação natural relacionados à economia de energia e à saúde e bem estar do usuário, esta ainda é um recurso natural subaproveitado, devido às limitações e incoerências na sua forma mais comum de predição de desempenho - o Fator de Luz do Dia (FLD). Este estudo busca apresentar um método alternativo e simplificado como ferramenta de avaliação das condições de iluminação natural internas, como proposta de inserção em normativas brasileiras. A metodologia proposta busca verificar a relação entre o desempenho energético e o atendimento à uma exigência mínima de desempenho luminoso. Com o auxílio de simulação computacional paramétrica, 600 modelos de ambientes representativos para um conjunto de variáveis são simulados e analisados quanto ao desempenho energético e a disponibilidade de iluminação natural. Os resultados são muito promissores, mas ainda mostram que são necessários alguns ajustes para a melhoria da precisão do método, tais como as variáveis selecionadas para a modelagem paramétrica e a resolução dos intervalos das medidas de avaliação da luz natural utilizadas para a verificação do desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de desempenho, iluminação natural, eficiência energética

ABSTRACT

In spite of the widely recognized benefits that daylighting has on energy saving, and the health and wellbeing of users, it still is a sub used natural resource, due to limitations and inconsistencies, that the most common form of performance prediction has – the Daylight factor (DF). The aim of the study is to present an alternative and simplified method as a tool for evaluating internal natural lighting conditions, and as well as a proposal to be included in the Brazilian regulations. The proposed methodology seeks to verify the relationship between the energy performance and the fulfillment of the minimum requirement of light performance. With the assistance of parametric computational simulation, 600 models of representative environments for a set of variables were simulated and analyzed regarding their energy performance and daylighting availability. Results are very promising, but they equally show that some adjustments are necessary to improve the accuracy of the method, adjustments in areas such as the selected variables for parametric modeling and the resolution of the intervals of measurements for evaluating the daylight, which are used for performance verification.

KEY-WORDS: performance assessment, daylighting, energy efficiency

RESUMEN

A pesar de los ampliamente reconocidos beneficios que tiene la iluminación natural en el ahorro de energía, y en la salud y bienestar de los usuarios, esta aun es un recurso natural sub-utilizado, debido a las limitaciones e incoherencias que tiene su forma más común de predicción de desempeño – el factor de luz diurna (FLD). El objetivo de este estudio es presentar un método alternativo y simplificado como herramienta de evaluación de las condiciones internas de iluminación natural, como una propuesta a ser incluida en las normativas brasileñas. La metodología propuesta busca verificar la relación entre el desempeño energético y el cumplimiento del requisito mínimo de desempeño luminoso. Con la ayuda de la simulación computacional paramétrica, 600 modelos de ambientes representativos para un conjunto

de variables, fueron simulados y analizados con respecto al desempeño energético y la disponibilidad de iluminación natural. Los resultados son muy prometedores, pero igualmente, muestran que son necesarios algunos ajustes para mejorar la precisión del método, ajustes en aspectos tales como las variables seleccionadas para el modelado paramétrico, y la resolución de los intervalos de las medidas para la evaluación de la luz natural, que son utilizados para la verificación del desempeño.

PALABRAS CLAVES: *evaluación de desempeño, iluminación natural, eficiencia energética*

1 INTRODUÇÃO

As edificações (comercial, residencial e público) são responsáveis por 47% do consumo total de energia elétrica no Brasil. Deste consumo, o setor comercial é responsável por 14,8%, sendo que os sistemas de iluminação artificial nesse mesmo setor consomem cerca de 22% da energia elétrica. Uma das maneiras mais eficazes para reduzir este consumo é o adequado aproveitamento da iluminação natural, já que possibilita a redução do uso dos sistemas de iluminação artificial, através de sistemas de controle.

A iluminação natural é apontada como uma das estratégias de maior potencial para economia de energia elétrica nas edificações. Reduções no consumo de energia em iluminação artificial são apontadas por diversos estudos, podendo atingir até 62% (Didoné, 2009). Além da importância conhecida da luz natural, relacionada aos aspectos energéticos, estudos mostram benefícios não mensuráveis, positivos e subjetivos, relacionados à adequada exposição a luz natural, como aumento de produtividade e bem-estar dos ocupantes do edifício (MARDALJEVIC; CHRISTOFFERSEN, 2013; MARDALJEVIC, 2013a; MARDALJEVIC, 2013b).

Na prática, porém, a iluminação natural é um recurso subaproveitado, devido às limitações do método padrão de previsão: a abordagem do Fator de Luz Diurna (FLD). Já é consenso na comunidade acadêmica, e cada vez mais entre os profissionais, que as normas/orientações para o uso da luz natural nos edifícios necessitam de atualização. As técnicas de avaliação padrão, como a abordagem do FLD, são cada vez mais reconhecidas como não adequadas à sua finalidade e que precisam de modernização. Além disso, cada localidade possui distintos conjuntos de dados climáticos, representativos das condições prevaletes medidos no local, e exibem toda a gama de variação que ocorre durante um ano inteiro de avaliação. Isto implica em diferenças quanto aos níveis de iluminância externa, o que afeta diretamente a avaliação das condições de iluminação internas, fato que é desconsiderado na abordagem do FLD.

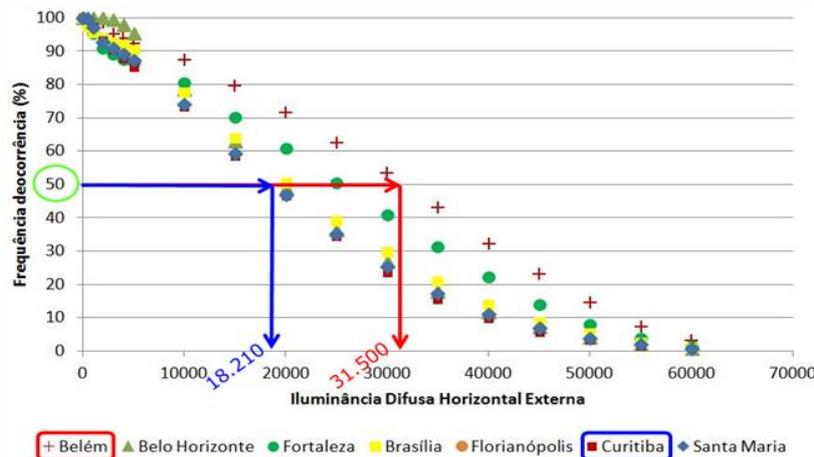
Neste contexto, as simulações de caráter dinâmico, que possibilitam a avaliação do desempenho da luz natural ao longo do ano, através de arquivos climáticos anuais, surgem como uma nova abordagem na simulação da iluminação natural (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). Porém, são ferramentas complexas que necessitam de conhecimentos avançados de simulação e de modelos definidos da edificação, limitando o uso de uma avaliação de desempenho inicial e ao longo do desenvolvimento do projeto das edificações.

No cenário brasileiro, o recente texto normativo da NBR 15.575/2013 – Parte 1 (ABNT, 2013) desconsidera os principais avanços relatados pela comunidade científica na área de iluminação natural. O texto retoma e sugere a adoção do Fator de Luz Diurna, com limites baseados em normas estrangeiras. Além disso, apresenta, no item 13.2.4, um método de avaliação impraticável para a verificação das condições de iluminação através da medição in loco para o Fator de Luz Diurna, especificando diferentes horários e orientações para a medição, o que contradiz todos os avanços realizados na área.

Neste contexto, Moraes e Pereira (2011) propõem um método simplificado para uma análise baseada em ferramentas existentes e que permita uma evolução na direção de avaliações baseadas em condições dinâmicas, semelhante à proposta de Mardaljevic e Christoffersen (2013) para implementação das normas europeias de iluminação. O procedimento proposto utiliza como parâmetro base o Fator de Luz Diurna – possível de ser obtido por diversos procedimentos, e sua relação com a disponibilidade da luz natural, caracterizada pela frequência de ocorrência de iluminâncias difusas externas. A proposta é avaliar a iluminação através do levantamento da ocorrência anual de um valor absoluto de iluminância (por exemplo, 300 lux) em pelo menos metade do plano de análise para um período de tempo de 50% do ano (relativo ao período de ocupação do ambiente), estimada com histogramas de frequência acumulada de iluminância difusa externa, calculados a partir de arquivos climáticos. Por estar embasado em um parâmetro como o FLD, o método apresenta algumas limitações de utilização, tais como a avaliação de diferentes orientações e presença de radiações solar direta (PEREIRA; MORAES; CANAS; CRUZ; 2012).

A importância de se utilizar tais histogramas de frequência de ocorrência está na tentativa de uma conectividade entre uma medida de avaliação (FLD) e o clima predominante. Cada localidade possui distintas condições climáticas, o que implica em diferenças quanto aos níveis de iluminância externa, afetando diretamente a avaliação das condições de iluminação internas, fato que é desconsiderado na abordagem do FLD. A Figura 1 apresenta diferentes histogramas para diferentes cidades; onde, por exemplo, para atingir o alvo de 300 lux, em Belém, metade do ambiente deve apresentar um fator de no mínimo 0,95%, enquanto em Curitiba o valor alvo mínimo é de 1,65%.

Figura 01: Histogramas de frequência de ocorrência de Iluminâncias difusas horizontais externas para diferentes localidades.



Fonte: Autores, 2014.

Este estudo busca, através da aplicação do método simplificado para avaliação de desempenho da iluminação, uma correlação entre o desempenho apresentado pelo método com o consumo de energia em iluminação artificial de diferentes tipologias de ambientes. Portanto, está dividido em três etapas: 1) aplicação do método simplificado; 2) simulações de demanda de energia; 3) correlação dos resultados das etapas anteriores.

2 METODOLOGIA

2.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO

A metodologia adotada é baseada no método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural proposto inicialmente por Moraes e Pereira (2011). Para a obtenção dos valores mínimos exigidos de FLD, a porcentagem de frequência de ocorrência das iluminâncias difusas externas, retiradas dos histogramas de frequência, foi fixada em 50% (relativo ao período de ocupação do ambiente), correspondendo ao seu valor mediano. Os valores de iluminâncias difusas externas foram retirados dos arquivos climáticos e as medianas foram calculadas com o auxílio do programa Excel.

Por exemplo, a mediana do valor da iluminância difusa horizontal externa, determinada a partir do arquivo climático SWERA (disponíveis em www.labeee.ufsc.br), para a cidade de Brasília, é 20360 lux. Em outras palavras, esta iluminância horizontal difusa é atingida em pelo menos metade do ano. O método do Fator de Luz Diurna assume uma relação constante entre a iluminância interna (E_{interna}) e externa (E_{externa}), conforme Equação 1, sendo que a sua aplicação mostra que, para Brasília, o limite de FLD (ou seja, necessário para atingir uma iluminância interna alvo de 300 lux) é dado pela Equação 2:

$$\text{Equação 1} \quad FLD = \frac{E_{\text{interna}}}{E_{\text{externa}}} 100\% \quad \text{então} \quad \frac{300 \text{ lux} \cdot 100\%}{20360 \text{ lux}} = 1,47\% \quad \text{Equação 2}$$

Em outras palavras, para que uma iluminação interna de 300 lux seja atingida em pelo menos metade do ano (50%), o Fator de Luz Diurna deve ser igual ou superior a 1,47%. Este procedimento é facilmente aplicável para cidades que possuem arquivos climáticos com dados de iluminâncias difusas horizontais externas.

2.2 DEFINIÇÃO DOS MODELOS PARAMÉTRICOS

Foram definidas 11 variáveis, conforme Tabela 12, na tentativa de englobar a maior gama de variáveis influentes nos parâmetros analisados: disponibilidade de luz natural e consumo de energia em iluminação. Estas variáveis, quando combinadas, resultam em aproximadamente 6 milhões de modelos paramétricos. Como a simulação de todos estes modelos é quase impraticável, foi utilizado um processo de amostragem aleatória, que possibilita a redução significativa no número de modelos a serem simulados, amostrando os casos mais representativos, denominada Hipercubo Latino (MCKAY et al., 1979). Para este estudo, foi definido um limite de 600 casos para serem amostrados, utilizando para isto o programa Matlab. Foram amostrados 200 casos para cada padrão de ocupação – 8 horas, 12 horas e 24 horas.

Três variáveis – Localidades, Densidade de potência em iluminação (DPI) e iluminância alvo – não foram amostradas. Dessa maneira, os modelos resultantes das amostragens serão simulados para estas três variáveis. Para este estudo, foram utilizadas as variáveis não amostradas: Localidade - Florianópolis; DPI – 12W/m²; Iluminância alvo - 300 lux.

Tabela 02: Variáveis utilizadas nas simulações.

	Variável	Quantidade	Variações
Não amostradas	Localidade	1	Latitudes (Florianópolis 27°)
	Densidade de potência em iluminação - DPI (W/m ²)	1	12
	Iluminância alvo (lux)	1	300
1	Refletância das superfícies	3	Combinações - teto, piso, parede (80-80-20; 80-40-20;40-40-20)
2	% de abertura na fachada(PAF); Zenital (PAZ)	4	(PAF20,PAF50,PAF80) (PAZ, 2% e 40%)
3	Brises	8	Combinações (0;30h;45h;60h;30v;45v;60v;45+45)
4	Vidros (Transmissão visível - T _{vis})	6	0.05 a 0.88
5	Orientações	8	N, S, L O, NE, NO, SE, S
6	Densidade de carga interna – DCI (W/m ²)	3	20, 40, 65
7	Absortância/transmitância das paredes e coberturas	3	Adiabático, pouca troca, média troca (absortância constante – 0,5)
8	Geometria	3	2x4m, 4x8m, 8x16m
9		4	Profundo1/2, isométrico1/1, largo2/1 e alto (pé-direito de 2.7m e 5.4m)
10	Padrão de ocupação	3	8h, 12h, 24h
11	Obstrução externa	4	0 com influência do piso externo , 0 sem influência do piso externo, ângulo de obstrução 40/80 graus
	Total de modelos	5,971,968	

Fonte: Autores, 2014.

Foram definidas três combinações para as refletâncias das superfícies (teto, piso e parede), com variações de 20%, 40% e 80%. As características de absortância e transmitância das paredes e coberturas foram agrupadas em três grupos: 1) adiabático (sem trocas); 2) pouca troca (baixa transmitância térmica; 2) média troca (média transmitância térmica). A absortância foi fixada em 0,5 para todas as superfícies. Quanto à geometria dos modelos, foram amostradas três relações de largura/comprimento- 2x4m, 4x8m, 8x16m - em diferentes proporções de ambientes - 1/2, 1/1, 2/1 – com pé-direito de 2,7m e 5,4.

Quanto à configuração dos brises, foram adotadas combinações de brises verticais e horizontais. A nomenclatura adotada na Tabela 2, como por exemplo, “0”, indique que não há a presença de brises; já a nomenclatura 30h refere-se ao brise horizontal de 30 graus; 30v refere-se ao brise vertical. As variações nos brises são de 30, 45 e 60 graus, sendo que estas são combinadas entre si no processo de amostragem. Em relação ao tamanho da abertura, foram adotados percentuais de abertura da fachada (PAF) de 20, 50 e 80%. Já para as aberturas zenitais, foram utilizados percentuais de 2% e 40%, com configurações de abertura única ou distribuída.

Os tipos de vidros foram selecionados na biblioteca de materiais do programa Energy Plus, com diferentes transmissões visíveis (T_{vis}) e fatores solares (FS), com espessura constante de 6mm, conforme Tabela 3. Ressalta-se que o vidro Difusor foi utilizado somente nas aberturas zenitais.

Tabela 03: Características dos vidros adotados nas simulações.

Vidro	Clear	Grey	Reflective (Steel Coat) Tinted LoTrans	LoE Tinted	LoE Spectrally Selective Clear	LoE Spectrally Selective Tinted	Difusor
Tvis	0.88	0.43	0.05	0.5	0.77	0.46	0.12
FS	0.819	0.602	0.232	0.45	0.468	0.351	0.299

Fonte: Autores, 2014.

Para o parâmetro Densidade de carga interna (DCI- W/m^2) foram consideradas as densidades de potências relativas às pessoas e aos equipamentos. Foram definidos valores referentes a uma densidade baixa ($20 W/m^2$), média ($40 W/m^2$) e alta ($65 W/m^2$), baseados nos valores estabelecidos pela ASHARE (2005) e no trabalho de Melo (2012).

Os modelos de obstrução externa foram analisados quanto à quatro configurações: 0 com influência do piso externo, 0 sem influência do piso externo e ângulo de obstrução de 40 e 80 graus. A obstrução foi localizada a 24 metros de distância da fachada dos modelos, simulando uma configuração de vi e calçadas. Para a definição do tamanho da obstrução, foi utilizada a limitação horizontal de 45 graus a partir das arestas do modelo de ambiente de maior dimensão; a altura da obstrução foi determinada para cada modelo, a partir da altura do peitoril, para ângulos verticais de 40 e 80 graus. A refletância das superfícies externas da obstrução foi definida em 43%, conforme recomendações de Leder (2007).

2.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Após o processo de amostragem, os 600 modelos serão modelados e simulados. Para a modelagem foi utilizado o plugin Grasshopper (RUTTEN, 2011), um plugin do programa de modelagem tridimensional Rhinoceros (MCNEEL, 2010), que permite a geração de modelos paramétricos. As simulações de disponibilidade de luz natural e cargas internas são realizadas no plugin DIVA (JAKUBIEC E REINHART, 2011), que integra simulações térmicas do programa EnergyPlus, com as simulações de disponibilidade de luz natural do programa de simulação Daysim (REINHART, 2010).

O plugin Diva realizada a simulação integrada, utilizando os dados de controle de iluminação do Daysim como dado de entrada para o programa Energy Plus. Na etapa de avaliação da iluminação natural, são gerados arquivos de dados (*.intgain.csv), que apresentam as cargas elétricas atribuídas à iluminação artificial e as horas em que esta está ativada, com base no sistema de controle dimerizável e no nível de iluminância de 300 lux. Posteriormente, estes arquivos são automaticamente carregados pelo Energy Plus, resultando no consumo de energia em iluminação artificial.

Os dados de saída das simulações foram obtidos duas medidas de avaliação de desempenho da iluminação natural:

- 1) Autonomia Espacial da Luz Natural- $sDA_{300, 50\%}$ (IES LM-83-12, 2012), que indica a porcentagem de área que excede um valor mínimo de iluminância por um determinado período de tempo ao longo do ano (por exemplo, $sDA_{300,50\%}$ corresponde a porcentagem de área onde os níveis de iluminação excedem 300 lux por pelo menos 50 % do tempo ao longo do ano). Esta medida utiliza um valor limite de iluminância de 300 lux e 50% para o limite temporal;
- 2) A outra medida foi a porcentagem de área do ambiente atingida pelo limite mínimo de FLD igual ou maior ao valor limite obtido através do método simplificado, referente ao atendimento

de uma iluminância mínima de 300 lux, para a cidade de Florianópolis, em 50% do tempo do período de ocupação dos ambientes.

3 RESULTADOS

Com os dados de iluminâncias difusas horizontais externas medianas, retirados dos arquivos climáticos, foi realizado o processo do método simplificado (mais informações sobre o método em Moraes e Pereira (2011)) para a identificação do valor limite para FLD mínimo necessário para atingir o nível de iluminância alvo (300 lux) em 50% do tempo, para a cidade de Florianópolis (Tabela 4). A Tabela 4 também apresenta valores limites de FLDs para diferentes níveis de iluminâncias, mostrando uma grande variação no valor.

Os diferentes modelos paramétricos foram analisados segundo a porcentagem de área do ambiente atingida pelo limite mínimo de FLD igual ou maior a 1,62%, referente ao atendimento de uma iluminância mínima de 300 lux, para a cidade de Florianópolis, em 50% do tempo do período de ocupação dos ambientes (conforme Tabela 4). Estes dados foram correlacionados com o consumo de energia em iluminação artificial resultante em cada ambiente, calculada através de um sistema de controle dimerizável (300 lux).

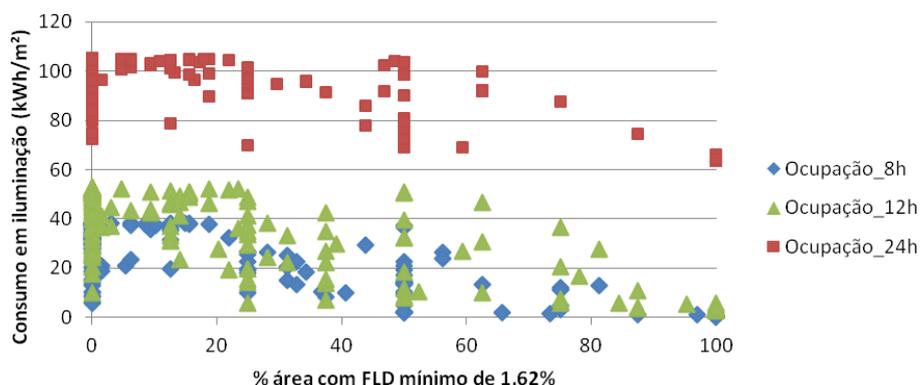
Tabela 04: FLDs mínimos para diferentes níveis de iluminância alvo, para porcentagens de ocorrência de 50%.

	Iluminância externa para Frequência de ocorrência (50%)	FLD ($E_{\text{mín}}=$ 100lux)	FLD ($E_{\text{mín}}=$ 300lux)	FLD ($E_{\text{mín}}=$ 500lux)
Florianópolis	18570	0.54%	1.62%	2.69%

Fonte: Autores, 2014.

A Figura 2 apresenta os resultados da diferença na relação entre o consumo de energia (kWh/m^2) e a porcentagem de área do ambiente atendida pela exigência mínima de 1,62% de FLD, das amostragens de 200 casos para cada período de ocupação - 8, 12 e 24 horas. Percebe-se uma mesma tendência entre todas as ocupações, com a redução no consumo com o aumento da área atendida.

Figura 02: Diferenças na relação entre consumo em iluminação e % de área com FLD mínimo de 1,62%, para diferentes períodos de ocupação dos ambientes.

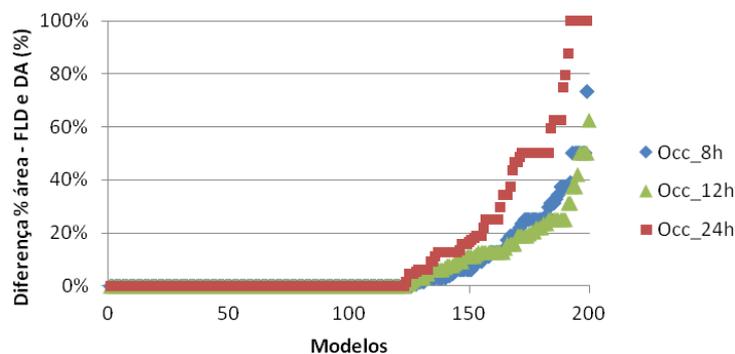


Fonte: Autores, 2014.

Apesar de apresentarem uma mesma tendência, observam-se diversos pontos dispersos, onde a relação entre o consumo e porcentagem de área atendida não representa corretamente o fenômeno. Para a verificação da adequação do parâmetro Fator de Luz Diurna à metodologia proposta, o mesmo foi comparado ao atendimento à condição de Autonomia espacial da luz natural- $sDA_{300, 50\%}$. Tal relação é apresentada na Figura 3, que mostra a diferença entre a

porcentagem de área atendida pelas duas exigências. Percebe-se que para as três ocupações, em média 105 dos 200 modelos não apresentam diferenças, sendo que o restante apresenta diferenças significativas. Este fato pode ser explicado pela própria condição de simulação, uma vez que o DA utiliza dados climáticos, considerando toda variação anual e orientação, e o FLD considera apenas a condição de céu encoberto.

Figura 03: Diferenças na % de área com FLD mínimo de 1,62%, e Da espacial de 300 lux, 50%.



Fonte: Autores, 2014.

Diante dos resultados apresentados, foi realizada uma investigação acerca das variáveis relacionadas às avaliações de iluminação natural amostradas, que não são consideradas na equação de cálculo do Fator de Luz Diurna, conforme Equação 3.

$$FLD = \frac{\tau \cdot A_{jan} \cdot \theta}{\text{Apiso}(1 - \rho^2_m)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

τ Transmissividade do vidro

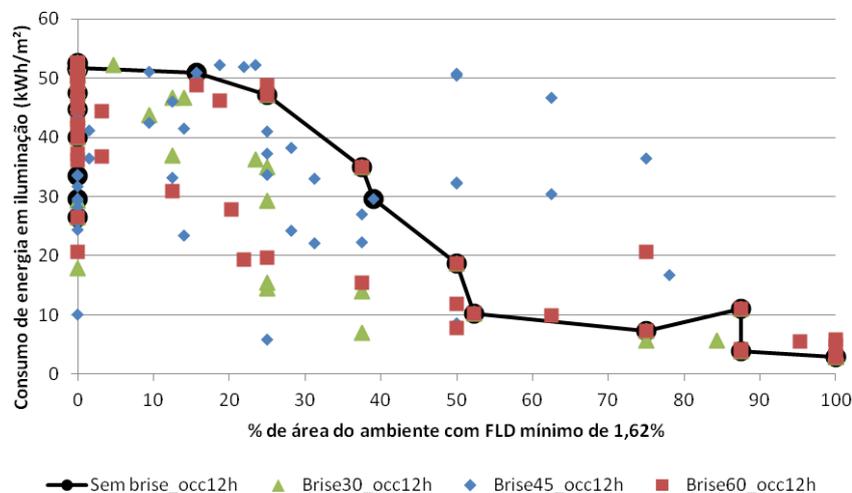
θ Ângulo de visão do céu

ρ^2_m Refletividade média ponderada pela área das superfícies internas

Conforme a Tabela 2, dentre as variáveis selecionadas, a orientação e a presença de brises são as que não constam na Equação 1. Apesar da limitação do método simplificado referente à orientação (PEREIRA; MORAES; CANAS; CRUZ; 2012), esta variável não foi investigada, uma vez que as análises realizadas utilizam brises, o que mascara a influência da orientação para os diferentes modelos analisados. Desta forma, a influência do uso de brises foi analisada mais detalhadamente. Para esta análise, foi selecionado um padrão de ocupação (12 horas), e foram realizadas filtragens por tipos de brises, com o auxílio do programa Excel.

A Figura 4 apresenta as diferenças entre consumo e porcentagem de área com atendimento à exigência mínima, para os modelos de ocupação de 12 horas, sem a presença de brises e com brises verticais e horizontais de 30, 45 graus e 60 graus.

Figura 04: Diferenças na relação entre consumo em iluminação e % de área com FLD mínimo de 1,62%, para modelos sem brise, com brise de 30, 45 e 60 graus.



Fonte: Autores, 2014.

Percebe-se que a utilização de brises de 60 graus resulta em melhores resultados em relação aos outros dois tipos de brises, fato que pode ser explicado pela maior proteção solar. Com a maior proteção, a radiação solar direta é reduzida, assemelhando-se a uma situação de orientação Sul, recomendada para o uso do método simplificado (MORAES e PEREIRA, 2011). No entanto, os modelos sem brise resultantes das filtragens realizadas nos modelos amostrados para a ocupação de 12 horas também apresentaram uma boa relação. Porém, como o número de casos filtrados para os modelos sem brise (22 casos) foi reduzido em relação aos casos filtrados para o brise de 60 graus (58 casos), a influência desta variável no desempenho da aplicação do método deve ser verificada em mais detalhes.

Outra tendência verificada na Figura 4 é a porcentagem de área zero com atendimento à exigência de desempenho. A Tabela 5 mostra que para todas as condições analisadas, cerca de metade do número de casos filtrados apresenta valores nulos de área atendida.

Tabela 05: Número de casos filtrados e número de casos com área zero de atendimento à exigência de desempenho.

	Sem brise	Brise 30 graus	Brise 45 graus	Brise 60 graus
Número de casos filtrados	22	60	96	58
Número de casos com área zero	11	30	51	21

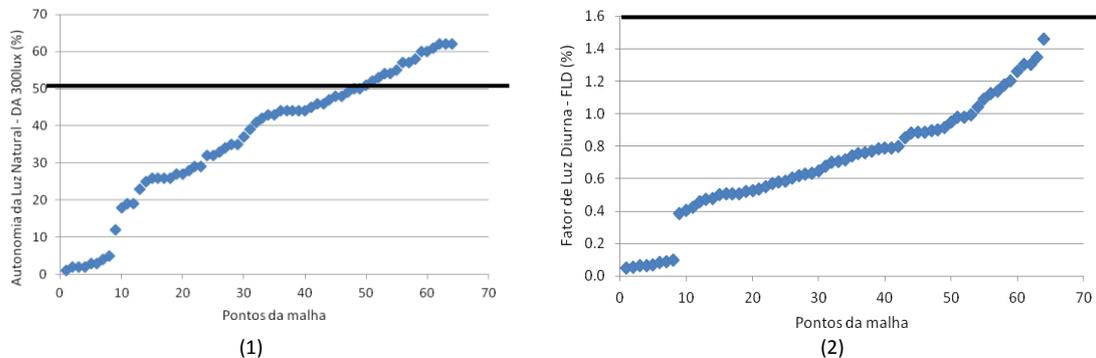
Fonte: Autores, 2014.

Como o valor limite utilizado é absoluto, ou seja, a contagem da porcentagem de área atendida considera apenas se o valor no ponto é maior ou menor que o limite de 1,62%, são desconsiderados pontos onde os valores de FLD ou DA (para o caso de consumo de energia) são próximos aos limites. Isto implica na desconsideração de pontos onde há níveis altos de disponibilidade de luz, mas que não são contabilizados nas porcentagens de área.

A Figura 5 exemplifica esta condição para um dos modelos analisados. Os gráficos são referentes aos valores encontrados para cada exigência, para cada ponto da malha no plano de análise. Percebe-se, através da Figura 5 (1), que 17 pontos (de um total de 64) apresentam valores de DA acima do limite de 50% do tempo; já 24 pontos apresentam valores entre 30% e 50%, que são desconsiderados, por estarem abaixo do limite estabelecido, mas possuem

grande potencial para as análises realizadas. Já para a exigência de FLD mínimo, Figura 5 (2), todos os pontos encontram-se abaixo do limite de 1,62%.

Figura 05: Valores para os pontos da malha do ambiente que atende à cada exigência - DA (1) e FLD (2) – para um dos modelos analisados.



Fonte: Autores, 2014.

4 CONCLUSÕES

Os resultados aqui apresentados são referentes a um estudo onde foram testadas as variáveis selecionadas para a confecção dos modelos paramétricos, o método de verificação de desempenho dos modelos paramétricos o método de análise dos resultados da aplicação do método simplificado e da simulação computacional.

As análises realizadas revelaram que são necessários alguns ajustes, tais como a definição da gama das variáveis selecionadas para a modelagem paramétrica, pois variáveis como absorvância das superfícies e Densidade de carga interna DCI (W/m^2), apesar de não influenciarem no consumo de energia em iluminação artificial, são consideradas no processo de amostragem dos casos mais representativos, mascarando as variáveis que são consideradas mais importantes para a aplicação do método. Diante disto, conclui-se que as variáveis mais influentes no consumo e na disponibilidade de luz natural – porcentagem de abertura na fachada, tipos de vidros e geometrias – devem ser amostradas e suas variações ampliadas.

A resolução dos intervalos das medidas de avaliação da luz natural utilizadas para a verificação do desempenho também devem ser repensada, uma vez que os valores limites adotados – 1,62% para FLD e $sDA_{300, 50\%}$ - não consideram os pontos próximos à estes, mas que apresentam altos valores de disponibilidade de luz natural. Assim, pontos do ambiente que possuem um nível alto de iluminação natural são contabilizados na porcentagem de área atendida e nem nos cálculos de consumo de energia, superestimando os consumos. Sugere-se a adoção do parâmetro de avaliação denominado Autonomia Contínua da luz natural (DAcon), que considera o tempo em que o nível luminoso está abaixo do nível alvo, concedendo créditos parciais (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006); essencialmente, a métrica reconhece que mesmo uma contribuição parcial de luz para iluminar um espaço ainda é benéfica.

Para as avaliações baseadas no Fator de Luz Diurna, propõe-se uma avaliação semelhante, concedendo créditos parciais para valores abaixo do valor limite obtido através do método simplificado. Como a análise da relação entre consumo de energia e aplicação do método simplificado é realizada através da porcentagem da área do ambiente que atende ao parâmetro de desempenho FLD, sugere-se a adoção de faixas limites para cada valor resultante dos créditos parciais atribuídos. Como por exemplo, seriam contabilizadas as porcentagens de área



com valores entre diferentes intervalos de FLD, abaixo do valor limite estabelecido.

Os resultados apresentados são muito promissores, mas ainda mostram que são necessários alguns ajustes para a melhoria da precisão do método. Porém, demonstra a aplicabilidade do método simplificado como ferramenta de avaliação das condições de iluminação interna. Pretende-se ampliar o estudo considerando diferentes latitudes e diferentes níveis de iluminância alvo, a fim de tornar a proposta aplicável para diferentes condições.

Apesar da proposta descrita acima não ser uma solução totalmente baseada no clima, já que apresenta algumas limitações de aplicação – radiação solar direta e orientação não são contabilizados- esta abordagem apresenta alguma “conectividade” com as condições climáticas locais e com a eficiência energética. Desta forma, enquanto aguardam-se melhores textos normativos baseados em metodologias mais atuais, assim como uma maior utilização de ferramentas de simulação dinâmicas, esta proposta surge como uma alternativa que considera, embora com limitações, o caráter dinâmico da iluminação natural, visando uma aplicação como parte do processo de atualização de normativas e regulamentações vigentes relacionadas à iluminação natural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Convênio CIE/ELETRABRAS (Nº ECV-DTP 002/2011), pelo apoio financeiro na forma de bolsa de pesquisa e pelas contribuições do mestrando Alexandre Reis Fellipe, principalmente no processo de modelagem e simulação, e pelas contribuições da doutoranda Raphaela Walger da Fonseca.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15575-1:2013. Edifícios habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. 2013.
- ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Fundamentals. Atlanta, 2005.
- DIDONÉ, E. L. (2009). A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC. Universidade Federal de Santa Catarina.
- IES LM-83-12. (2012). Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)- IES LM-83-12. Nova Iorque: Illuminating Engineering Society of North America.
- LEDER, Solange Maria. OCUPAÇÃO URBANA E LUZ NATURAL: PROPOSTA DE PARÂMETRO DE CONTROLE DA OBSTRUÇÃO DO CÉU PARA GARANTIA DA DISPONIBILIDADE À LUZ NATURAL. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Florianópolis, SC, 2007. 240 p.
- JAKUBIEC, J. A., REINHART, C. (2011). THE “ ADAPTIVE ZONE ” – – A CONCEPT FOR ASSESSING GLARE THROUGHOUT DAYLIT SPACES. In Proceedings of Building Simulation 2011:12th Conference of International Building Performance Simulation Association (pp. 14–16). Sydney.
- MARDALJEVIC, J. (2013). Rethinking daylighting and compliance. In SLL/CIBSE International Lighting Conference. Dublin, Ireland.
- MARDALJEVIC, J., CHRISTOFFERSEN, J. (2013). A Roadmap for Upgrading National/EU Standards for Daylight in Buildings. In CIE Midterm conference – Towards a new century of Light (pp. 1–10). Paris, France.
- MCKAY, M.D.; CONOVER, W. J.; BECKMAN, R. J. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code. Technometrics, v.21, n.2, p.239-245. 1979.



- MCNEEL, R: 2010, Rhinoceros – NURBS Modelling for Windows (version 4), McNeel North America, Seattle.
- MELO, Ana Paula. Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- Florianópolis, SC, 2012. 189 p.
- MORAES, L. N. ; PEREIRA, F. O. R. . Um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural. In: *XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2011, Búzios-RJ.
- PEREIRA, F. O. R. ; MORAES, L. N. ; CANAS, G. ; CRUZ, R. C. E. . Refinamento de método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural. In: *Anais do ENTAC 2012 - XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2012.
- REINHART, C. F. 2010, Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design, Harvard University, Cambridge.
- REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. (2006) Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, Canada, v. 3, n. 1.
- RUTTEN, D., 2011, “Evolutionary Principles Applied to Problem Solving”, Available from: David Rutten’s blog < <http://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/> > (acesso em 15 de julho de 2014).