



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

UM MÉTODO SIMPLIFICADO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DINÂMICO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Letícia Niero Moraes (1); Fernando O. Ruttkay Pereira (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, leticia@labcon.ufsc.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, feco@arq.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

A iluminação natural é um fenômeno de difícil avaliação devido à sua natureza dinâmica, sendo um recurso usualmente subaproveitado no projeto de edificações devido às limitações do método padrão de previsão: a abordagem do *Daylight Factor (DF)* e à complexidade das ferramentas de avaliação de desempenho existentes. Este estudo busca uma metodologia alternativa para avaliação da iluminação natural através de um procedimento simplificado para obtenção de métricas dinâmicas de desempenho - *Daylight autonomy (DA)* e *Useful daylight illuminances (UDI)*. O método proposto é baseado na relação entre a iluminância interna e a externa, cuja definição é o *Daylight Factor*, e pela frequência de ocorrência com que as iluminâncias externas ocorrem ao longo do ano. A verificação da precisão do método é feita através da comparação dos resultados obtidos pelo método proposto com a simulação no programa *Daysim*. Os resultados revelaram semelhanças na distribuição interna das faixas de UDI e DA e diferenças nos valores referentes a cada métrica de aproximadamente 11% (DA) e 6,6%(UDI), explicadas pelas diferentes concepções de simulações utilizadas. A metodologia se mostrou confiável e com uma precisão razoável para ser empregada por projetistas de edificações, sendo uma ferramenta atraente para demonstrar o desempenho da luz natural aos profissionais que não possuem conhecimento a respeito de simulação dinâmica, uma vez que permite uma avaliação do fenômeno no decorrer do processo de projeto. Espera-se que este estudo contribua com informações acerca do processo de avaliação do desempenho luminoso e sirva de auxílio para a inclusão da iluminação natural no processo de projeto de edificações.

Palavras-chave: avaliação de desempenho, métricas dinâmicas, simulação computacional

ABSTRACT

Daylighting is a difficult phenomenon to assess due to their dynamic nature, being usually an underused resource in the design of buildings due to limitations of the standard method of prediction: the approach of *Daylight Factor (DF)* and the complexity of performance evaluation tools. This research seeks an alternative methodology for evaluating the daylighting through a simplified procedure for obtaining dynamic performance metrics - *Daylight Autonomy (DA)* and *Useful daylight illuminance (UDI)*. The proposed method is based on the relationship between internal and external illuminances, which is defined as the *Daylight Factor*, and the frequency of occurrence of the external illuminance throughout the year. The verification of the accuracy of the method is done by comparing the results obtained by the proposed method with the simulation program *Daysim*. The results showed similarities in the internal distribution of the ranges of DA and UDI and differences in values for each metric of approximately 11% (DA) and 6.6% (UDI), explained by the different conceptions of simulations used. The method proved reliable and with reasonable accuracy to be used by building designers, with an attractive tool to demonstrate the performance of daylight to professionals who have no knowledge of dynamic simulation, since it allows an assessment of the phenomenon in during the design process. It is hoped that this study will contribute with information about the process of assessing the performance of light and serve to help the inclusion of daylight in the building design process.

Keywords: performance evaluation, dynamic metrics, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A exploração da luz natural é reconhecida como um meio eficaz para reduzir as necessidades de iluminação artificial em edifícios comerciais. Na prática, porém, é um recurso natural bastante subaproveitado, devido às limitações do método padrão de previsão: a abordagem do *Daylight Factor (DF)*¹. Através de entrevistas com três grupos de profissionais, o estudo de Reinhart et al (2006) mostrou que os parâmetros de avaliação da luz natural mais comumente utilizados por profissionais atuantes na área de edificações são as iluminâncias no plano de trabalho sob determinadas condições de céu e o *DF*. Esta constatação não é surpreendente, já que estes parâmetros podem ser calculados diretamente por ferramentas de análise simplificadas, e os códigos e orientações tendem a fornecer limites mínimos, facilitando a tomada de decisões com base nesses índices de desempenho.

Pesquisas apontam para a necessidade de mais indicadores de desempenho global e processos de análise de projeto para avaliar a qualidade e a quantidade de iluminação natural em um edifício. A última década tem visto vários avanços de como analisar numericamente o desempenho geral dos espaços iluminado durante o dia. Porém, essas inovações estão em forte contraste com a prática corrente de projeto de iluminação natural que ainda favorece o uso de regras de ouro (*Rules-of-thumb*)² durante o projeto esquemático e parâmetros de avaliação como o *DF* (Galasiu et al, 2007).

Como a luz natural é extremamente variável, é de suma importância o estudo da sua distribuição ao longo do ano, permitindo uma análise completa do seu comportamento. Diversos métodos podem ser utilizados para analisar o comportamento da luz natural ao longo do ano, no interior dos ambientes. Dentre eles, podemos citar: os métodos gráficos e matemáticos simplificados, as simulações com modelos físicos reduzidos (maquetes) e a simulação computacional.

O uso de simulações computacionais é um caminho comumente utilizado e que mostra resultados objetivos. Os programas que simulam o comportamento das iluminações, natural e artificial, são ferramentas que auxiliam na predição da iluminação durante a fase de projeto, auxiliando o profissional na concepção de ambientes que visem o melhor aproveitamento da luz natural. Uma série de pesquisas têm sido realizada para compreender como utilizar melhor as ferramentas de simulação durante a concepção dos edifícios, bem como as barreiras que impedem sua ampla utilização. O estudo de Reinhart et al (2006) revela que a principal barreira contra uma grande utilização de ferramentas computacionais de iluminação natural é a complexidade das ferramentas existentes. Os dados recolhidos sugerem uma tendência de engenheiros usarem ferramentas mais detalhadas enquanto arquitetos entrevistados preferiram ferramentas mais simplificadas.

Os programas de simulação podem ser estáticos ou dinâmicos. Os que realizam a simulação de forma estática proporcionam análises pontuais, verificando a distribuição da luz natural para um dia e hora específicos e expressa resultados na forma de imagens foto realísticas ou valores de iluminância, como o *Daylight Factor*. São mais favoráveis para serem utilizados em análises pontuais, ou seja, em curto prazo. Embora seja possível realizar simulações hora a hora, para a análise anual, através de modelos estáticos, este procedimento não é recomendado devido ao tempo que deve ser empregado para a execução de tal tarefa, tornando-a inviável. Diante desta dificuldade, surgem os programas de simulação dinâmicos, mais apropriados, pois em uma única simulação permitem a avaliação do desempenho da luz natural ao longo do ano. Estes programas utilizam dados de radiação local, hora a hora, que podem ser obtidos através de arquivos climáticos anuais. Geram séries anuais de iluminâncias e são usadas como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural. Os indicadores mais utilizados são o *Daylight Autonomy (DA)* e *Useful Daylight Illuminances (UDI)*.

O índice *DA* foi introduzido por REINHART (2002), baseado em métodos de simulações dinâmicas do ambiente, em substituição ao conceito de *Daylight Factor*. O *DA* corresponde à percentagem de horas (do ambiente ocupado) em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado, possibilitando uma autonomia da iluminação natural em relação à luz artificial. Devido ao fato de o índice *DA* não considerar iluminâncias que estão acima ou abaixo do limite, surge o conceito de *UDI*, que corresponde à percentagem de horas em um ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação confortável. Esta variação é definida entre 100 a 2000 lux, baseada em estudos efetuados a cerca do conforto humano em espaços iluminados pela luz natural. Abaixo de 100 lux, a

¹ O *Daylight Factor* é definido como a proporção entre a iluminância interna em uma superfície horizontal (E_i) e a iluminância externa em uma superfície horizontal (E_e) medidas simultaneamente sob condições de céu nublado padrão da CIE (fórmula: $E_{int}/E_{ext} \times 100\%$).

² Regras não padronizadas, tais como relações da janela por área de parede, clarabóias, bem como comentários gerais sobre a orientação, vidros, dispositivos de proteção solar, e da eficácia dos controles de iluminação. (Galasiu, A.D.; Reinhart, C.F., 2008)

iluminância atinge um nível muito baixo e, portanto insuficiente para contribuir significativamente no tempo de uso da iluminação artificial. Acima de 2000 lux a iluminância atinge um nível muito alto, podendo gerar desconforto térmico e /ou visual (NABIL et al, 2006).

As simulações dinâmicas surgem como uma nova abordagem na simulação da iluminação natural, uma vez que o procedimento de cálculo permite o processamento de uma análise de longo prazo de forma viável. 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. Este estudo busca uma alternativa mais expedita para a simulação dinâmica da luz natural.

2. OBJETIVO

Propor uma metodologia simplificada e confiável para a análise do aproveitamento da iluminação natural no interior de ambientes através de um procedimento simplificado para obtenção de indicadores dinâmicos de avaliação da luz natural.

3. MÉTODO

O método proposto utiliza uma técnica para a avaliação das condições de iluminação internas com base em informações sobre a disponibilidade externa de longo prazo de luz natural difusa, já utilizada por Alluci (2002). Inicialmente é calculado o *Daylight Factor (DF)*, para céu encoberto padrão CIE em pontos internos da edificação. Conhecidos os valores de *DF* em cada um dos pontos do ambiente e assumido um valor de iluminância interna alvo, é possível identificar qual será o nível de iluminância externa necessária para atender aquela iluminância alvo. Através de gráficos de histograma de frequência de iluminâncias externas é possível determinar a frequência de ocorrência da iluminância externa que será a mesma taxa de ocorrência para a iluminância alvo para determinada região. A metodologia proposta avança nesta técnica, desenvolvendo um procedimento de determinação de indicadores dinâmicos de avaliação da iluminação natural – *DA* e *UDI* - utilizando a relação entre a iluminância interna e a externa, definida pelo *DF* e gráficos de frequência de ocorrência de iluminâncias difusas externas.

Um modelo de ambiente de geometria simplificada é utilizado como base para a coleta de dados das simulações, que são realizadas em dois programas computacionais: *Daysim*, que gera automaticamente os resultados dos indicadores dinâmicos de desempenho- *DA* e *UDI*; e o *Lightool*, utilizado como parte do método simplificado proposto para obtenção do *DF*. O mesmo ambiente foi utilizado para simulação de três cidades brasileiras – Belém, Brasília e Curitiba, sendo que cada um possui suas particularidades, conforme detalhado adiante. O trabalho compara os resultados obtidos através da simulação computacional com o programa *Daysim* e o método simplificado.

3.2. Simulações para o método simplificado

O ambiente proposto para o estudo apresenta dimensões de: 4.0 x 6.0 x 3.0 metros (largura, profundidade e altura), conforme Figura 1. O ambiente não possui mobiliário e as superfícies internas apresentam as seguintes refletâncias: 70% para o forro, 50% nas paredes, e 20% para o piso. A malha de pontos para coleta de dados da simulação está situada a 0,80m de altura em relação ao piso. O ambiente interno foi dividido em áreas iguais, formando uma malha de 0,50m x 0,50m, onde os pontos de análise estão localizados nos vértices de cada quadrado da malha, somando um total de 117 pontos.

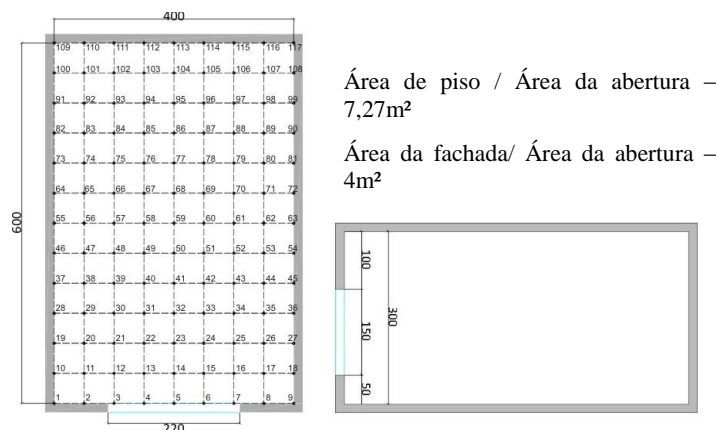


Figura 1 – Modelo de ambiente interno utilizado e malha de pontos de análise

O procedimento simplificado tem como base o *DF* e a iluminância externa, definida segundo o Gráfico de frequência de ocorrência de iluminâncias difusas (Figura 2). Primeiramente são obtidos os valores de *DF* para os pontos da malha do ambiente a ser analisado, que pode ser calculado através de vários métodos: simulações computacionais, medições em modelos reduzidos ou através de modelos gráficos e matemáticos. Neste estudo utiliza-se um programa de cálculo de iluminação integrada (natural + artificial), o *Lightool*, criado com base nos algoritmos desenvolvidos por Claro (1998). Lembra-se que existem outros programas com a mesma finalidade de utilização para este estudo, sendo que a utilização do programa se deu devido a sua facilidade de utilização e apresentação rápida dos resultados.

Na sua formulação, o *DF* é assumido como uma constante para todos os pontos de um ambiente, independente da iluminância horizontal externa produzida por céus com uma distribuição de luminâncias uniformemente constante em relação ao azimute- céus uniformes e encobertos. O procedimento parte do seu próprio conceito, definido pela equação 01 abaixo. A equação 2 permite o cálculo da iluminância externa, sendo necessário o conhecimento de uma iluminância no plano horizontal interno (*E_p*) e o valor de *Daylight Factor (DF)* obtido através do programa *LightTool*:

$$\text{Equação 1} \quad DF = \left(\frac{E_p}{E_{ext}} \right) * 100 \quad \text{então} \quad E_{ext} = \left(\frac{E_p}{DF} \right) * 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde:

DF – Daylight factor

E_p – iluminância num ponto horizontal interno

E_{ext} – iluminância simultânea num plano externo horizontal

Através do gráfico e com os valores de *DF* calculados para a malha de análise é possível estimar a porcentagem do ano durante o período de trabalho na qual um determinado nível de iluminação é alcançado. Deste modo, de acordo com as equações 1 e 2, tem-se que *E_{ext}* equivale a *E_p*, visto que o valor de *DF* é tido como constante. Assim, os valores de frequência de ocorrência de iluminâncias difusas horizontais externas retirados do gráfico utilizando-se valores de *E_{ext}* (que correspondem às iluminâncias *E_p*) corresponderão aos valores de *Daylight autonomy (DA)* para cada iluminância num ponto horizontal interno equivalente.

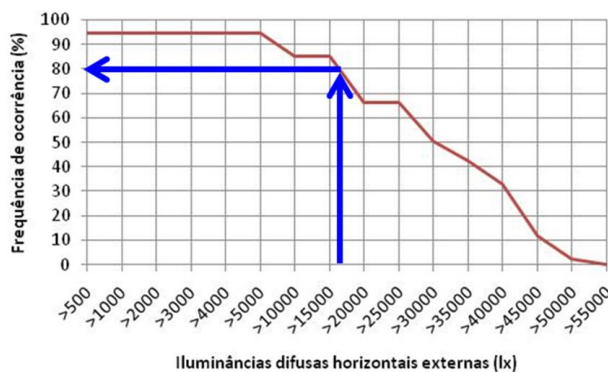


Figura2 – Gráfico de frequência de ocorrência de iluminâncias difusas (obtido no programa LUX 2.0, disponível em: www.usp.br/fau) ; Para uma iluminância alvo de 100 lx, num ponto com *DF* = 0,6%, o *DA* será de ≈ 80%. ($E_{ext} = (100/0,6) * 100 = 16.667$ lx - ocorre 80% do tempo)

Porém, deve-se compreender que este método não considera a luz direta do Sol, pois o *DF* foi calculado para céu encoberto, subestimando a capacidade total de disponibilidade de luz natural interna. Portanto, para uma análise anual do desempenho de um edifício, considerando tanto a contribuição da luz difusa do céu e a luz do Sol, existem programas computacionais como o programa *Daysim*, que foi utilizado como base de comparação com o método simplificado (item 3.3).

3.2.1. Determinação das Autonomias de luz natural - DA

A fim de facilitar o processo de obtenção dos valores de *DA* do gráfico, foram geradas equações polinomiais das curvas referentes a cada gráfico através do comando “linha de tendência (LT)” do programa Excel, Figura 3.

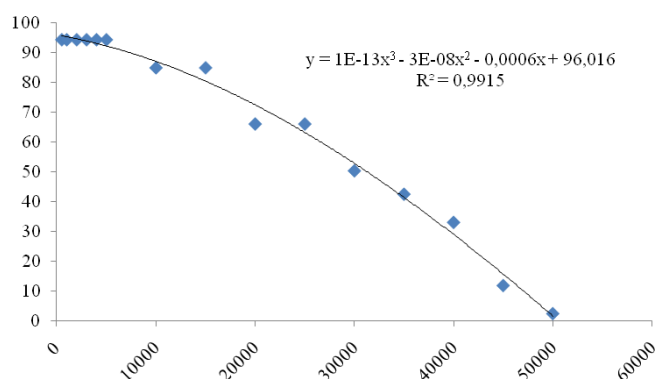


Figura3 – Equação do gráfico de frequência de ocorrência de iluminâncias difusas externas (lux) obtido através do comando “linha de tendência” do Excel - Belém

O mesmo procedimento foi adotado para obtenção das equações de curvas equivalentes para cada cidade em estudo (Figura 4). Para este estudo, os dados de frequência de ocorrência das iluminâncias externas foram obtidos com o programa LUX 2.0, disponível no site da FAUUSP/Depto de Tecnologia/LABAUT: www.usp.br/fau. O programa utiliza um modelo matemático a partir dos dados de radiação solar e nebulosidade, que permite o cálculo das frequências de ocorrência das iluminâncias externas. Lembra-se que este procedimento pode ser adotado para quaisquer cidades de interesse, desde que possuam valores de frequência de ocorrência de iluminâncias através de dados de radiação solar e nebulosidade.

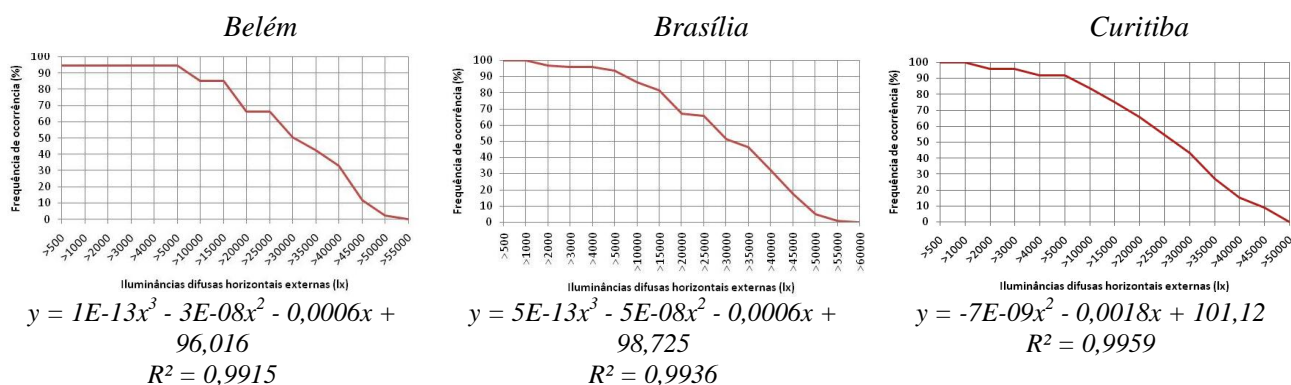


Fig.4 Equações resultantes do método simplificado para cada cidade. O valor de R^2 representa a precisão da previsão, sendo que quanto mais próximo de um, maior a aproximação dos resultados

Devido a limitações do comando “linha de tendência” da ferramenta Excel, que provoca erros em relação ao gráfico original quando gera equações com valores extremos, foi adicionada a cada equação a condição de que nos valores dos gráficos onde a frequência de ocorrência equivale a zero a DA será zero.

Através das equações das curvas é possível o cálculo dos valores de DA para cada cidade. São calculados valores de DA para diferentes valores de iluminâncias alvo, sendo estes referentes às faixas de UDI encontradas na bibliografia – 100 lux e 2000lux (NABIL et al, 2006). Calcula-se também a DA para o valor de 500lux, para fins de comparação de resultados. A Tabela 4 exemplifica a planilha gerada no Excel para o cálculo automático dos valores de DA, para um valor de iluminância alvo de 100 lux, para a cidade de Belém. A iluminância externa é calculada aplicando-se a equação 2 e a DA calculada pela aplicação da equação da curva do gráfico referente a cidade (Figura 4).

Tabela4. Exemplo de planilha de cálculo para obtenção das DAs

Ponto	E alvo (lux)	DF Belem[%]	Eexterna (lux)	Autonomia da luz natural(DA) % - 100 lux
1	100	0.6	16667	78
2	100	0.8	12500	84
3	100	0.8	12500	84
4	100	0.8	12500	84

3.2.2. Determinação das Iluminâncias úteis - UDI

Com os valores de DA calculados para cada valor de iluminância -100 e 2000 lux- é possível a obtenção das faixas de UDI correspondentes a cada intervalo. O procedimento adotado está ilustrado na Figura 5, onde

cada faixa de *UDI* é resultante da subtração de valores de *DA*.

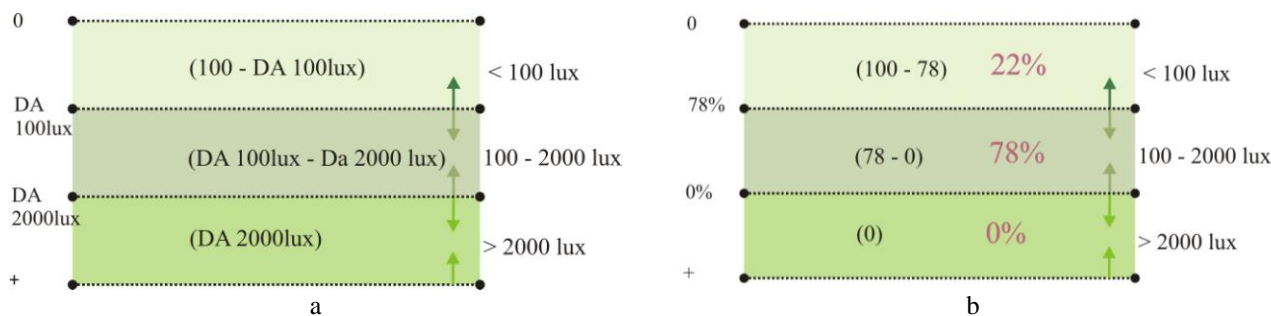


Figura5 – Método de obtenção das faixas de UDI para cada valor de DA (a); Exemplo de aplicação (b)

Uma planilha de cálculo foi gerada no Excel para a obtenção automática dos valores de *UDI*, conforme tabela 5.

Tabela5. Exemplo de planilha de cálculo para obtenção das faixas de UDI

Ponto	VALORES DE DA (%)		FAIXAS DE UDI (%)		
	DA (%) - 100Lux	DA (%) - 2000lux	> 100lux	1000 -2000lux	< 2000lux
1	78	0	22	78	0
2	84	0	16	84	0
3	84	0	16	84	0
4	84	0	16	84	0

3.3. Simulação Dinâmica - Daysim

A simulação no Daysim utiliza o algoritmo do *RADIANCE* para calcular as iluminâncias internas de um ambiente no período de um ano e é feita através de um modelo tridimensional do ambiente a ser analisado, que pode ser importado de programas como o *Ecotect* e o *Sketchup*³. Neste modelo são definidas as propriedades ópticas das superfícies e orientação do modelo. As simulações são realizadas com o uso de arquivos de dados meteorológicos do tipo TRY (*Test Reference Year*), que se baseiam num banco de dados climáticos, considerado com típico de cada localidade. Os arquivos de referência TRY foram obtidos através do site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labeee.ufsc.br>), para as três cidades simuladas.

O modelo foi orientado ao sul visando uma aproximação às características de um céu encoberto, para fins de comparação dos resultados obtidos com o método simplificado, que utiliza esta condição de céu no seu procedimento. Além do cálculo das iluminâncias, o programa permite a determinação do *Daylight Factor* (DF), *Useful Daylight Illuminance* (UDI) e *Daylight Autonomy* (DA) para cada ponto de referência da malha de pontos. O procedimento de simulação teve como base o tutorial desenvolvido por Reinhart (2006). O tempo da simulação foi 60min, com o horário de ocupação do espaço no intervalo das 8h00min as 18h00min.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Após o cálculo das métricas dinâmicas de desempenho da luz natural para os pontos de análise, o resultado é apresentado através de representações gráficas, tais como curvas de nível, através do programa *Winsurf*. Os resultados foram tratados e analisados através de métodos gráficos e correlações numéricas.

4.1. Comparação entre o Daylight Factor

O programa *Winsurf* foi utilizado como ferramenta para a representação gráfica dos resultados. Uma primeira comparação foi realizada através da geração de curvas isoDF (*iso Daylight Factor*) dos dois programas utilizados, *Daysim* e *LightTool*. A Figura 6 mostra os resultados obtidos pelos programas de simulação. Percebe-se que as curvas isoDF possuem uma distribuição interna semelhante, sendo que o gráfico proveniente da simulação no *Daysim* apresenta maiores valores (Figura 6-b). Uma possível causa para esta diferença está nos métodos utilizados para resolver o cálculo do DF: o programa Daysim fornece o

³ O *Sketchup* é um programa de fácil entendimento e grande popularidade entre projetistas e estudantes. A versão gratuita pode ser adquirida no site <http://www.sketchup.com/>.

DF como resultado da simulação que utiliza arquivos climáticos, contabilizando períodos de céu encoberto que, por serem dados reais, não são exatamente iguais, nem em magnitude e nem em distribuição, aos do modelo teórico do céu CIE; já o *LightTool* o calcula a partir dos dados de um dia de céu encoberto, dividindo a iluminância interna pela externa.

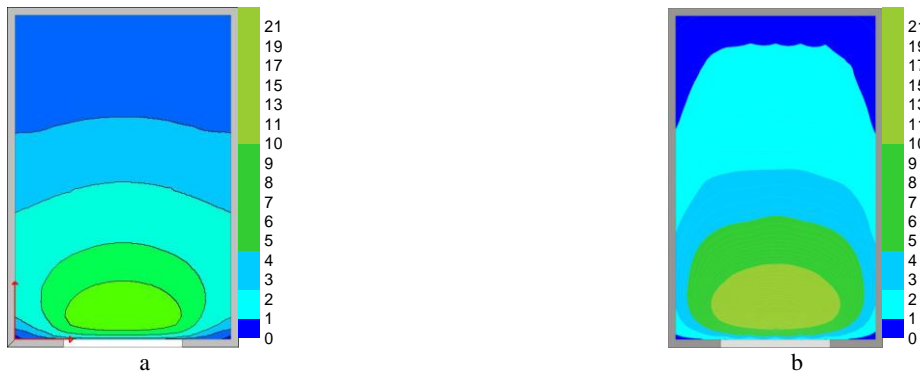


Figura 6- Curvas *isoDF* obtidas para o mesmo ambiente no programa Lighttool(a) e Daysim(b)

4.2. Comparação entre os índices de desempenho dinâmico da luz natural

A análise comparativa entre os índices de desempenho da iluminação natural foi realizada através do uso das medidas dinâmicas de *Daylight Autonomy* (DA) e *Useful Daylight Illuminances* (UDI). Para melhor ilustrar, a análise é apresentada através de um método gráfico, onde as curvas *isoDA* (*Iso Daylight Autonomy*) e *isoUDI* (*Iso Useful Daylight Illuminances*) são elaboradas com o auxílio do programa *Winsurf*. Os resultados obtidos através da malha de pontos do plano de análise em posição cartesiana, provenientes do programa de simulação, com valores de DA e UDI, foram inseridas nas planilhas do *WinSurf* para formar os gráficos de curva *isoDA* e *isoUDI*. O mesmo procedimento foi adotado para os valores resultantes do método simplificado proposto.

A comparação visual entre os métodos aplicados segue o modelo de representação proposto por Reinhart e Wienold (2011), onde uma mesma escala de representação é utilizada para curvas *isoDA* e *isoUDI*(Figura 7). A figura 7 revela uma distribuição semelhante das curvas *isoDA* e *isoUD*.

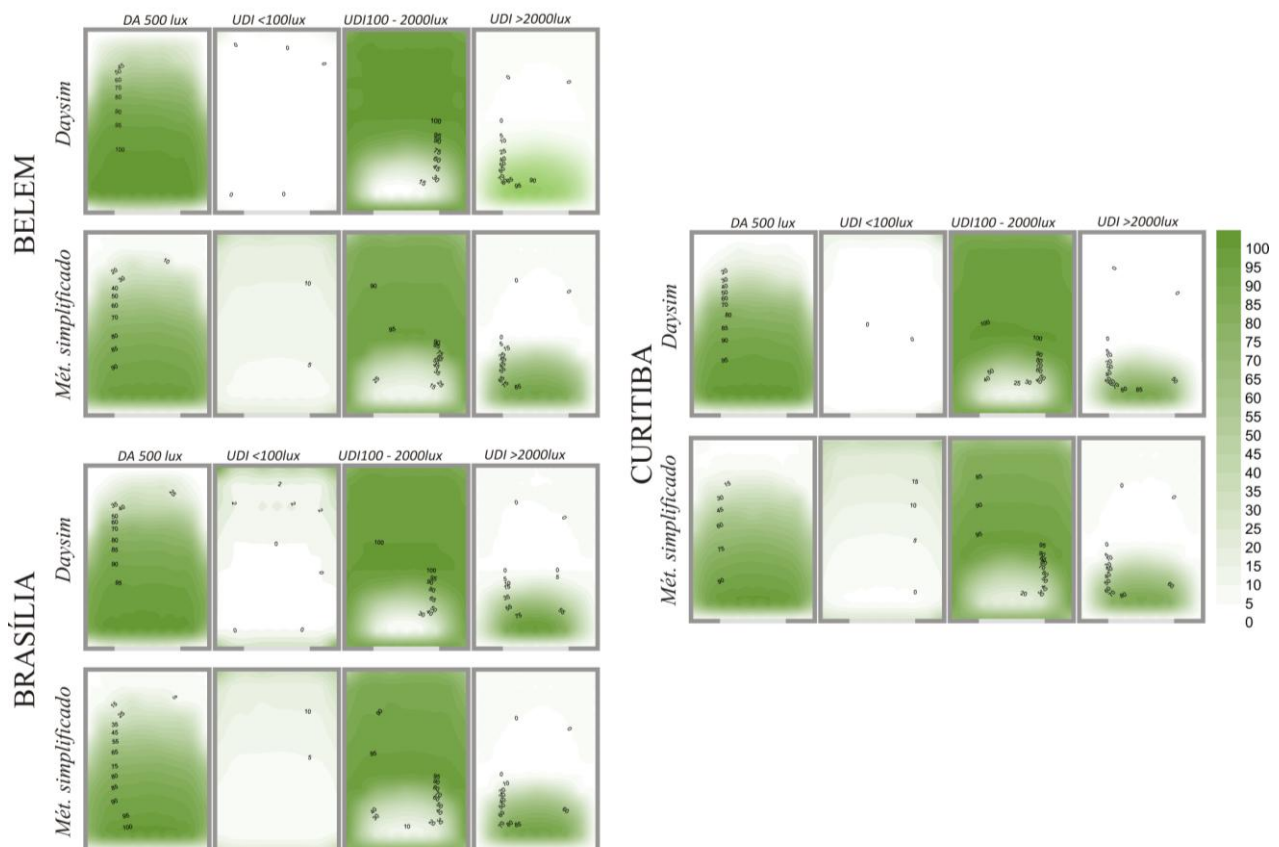


Figura 7- Comparação dos resultados de DA e UDI para as três cidades

4.2.1 Comparação entre o índice Daylight Autonomy – DA

A Figura 7 revelou uma semelhança na distribuição interna do índice DA. A fim de avaliar a diferença nos valores referentes a cada método, foram gerados gráficos para diferentes valores de iluminância alvo, conforme Figura 8. A Figura mostra os resultados para cidade de Belém, sendo que o mesmo comportamento foi verificado nas demais cidades. Os picos presentes nos gráficos são resultado dos pontos localizados junto às paredes. Nota-se que o método simplificado apresenta sempre os menores valores de DA e que ocorre uma aproximação das curvas nos maiores valores de iluminância.

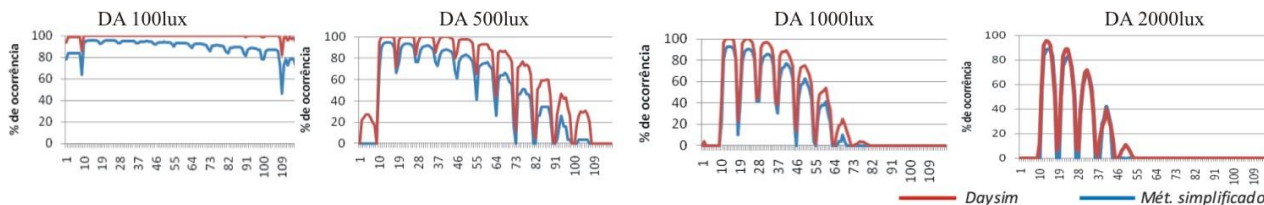


Figura 8 – DAs para níveis diferentes de iluminância – Belém

Foram calculadas as médias dos valores obtidos para todos os pontos da malha e a diferença entre essas médias, conforme Tabela 6.

Tabela6. Médias dos valores de DA e diferença entre as médias para as três cidades

	<i>Belém</i>	<i>Brasília</i>	<i>Curitiba</i>	<i>Média</i>
<i>Daysim</i>	62	57	51	
<i>Mét. Simpl.</i>	47	48	41	
<i>Diferença</i>	15	9	10	11.33

O fato de o programa *Lightool* apresentar menores valores de *DF* e a utilização dos histogramas de frequência de ocorrência de iluminâncias horizontais difusas gerou menores valores de DA para o ambiente analisado, uma vez que utiliza o céu encoberto para a coleta de dados, implicando na falta de uma análise que considere a luz solar. O programa *Daysim* considera todas as possíveis contribuições da componente direta do sol, refletindo nas superfícies internas, e conseqüentemente aumentando os valores de iluminância no ambiente.

4.2.2 Comparação entre o índice Useful Daylight Illuminances – UDI

A Figura 9 mostra os resultados obtidos para as faixas de UDI para cidade de Belém, sendo que o mesmo comportamento foi verificado para as demais cidades.

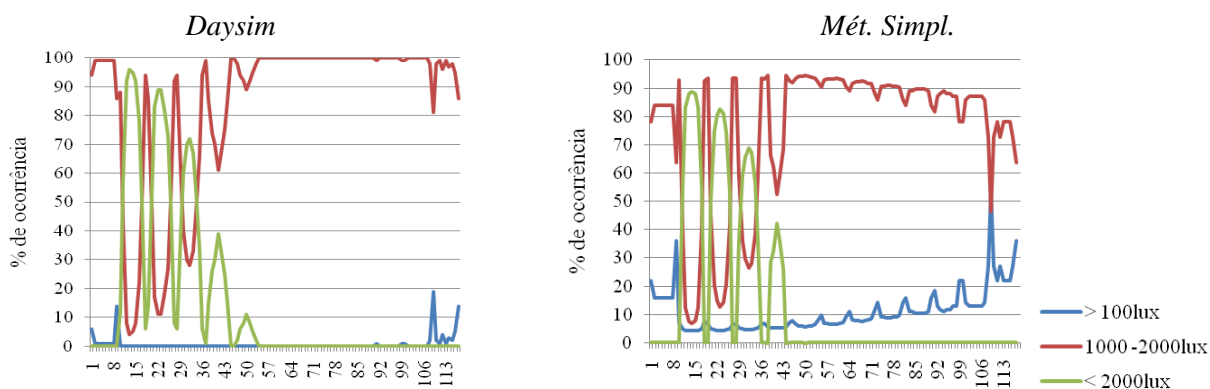


Figura 9- Comparação dos resultados de faixas de UDI para a cidade de Belém

Percebe-se uma diferença entre as curvas, sendo que a quantificação desta diferença é feita a partir das médias das diferenças dos valores referentes a cada faixa de UDI, para cada cidade, conforme Tabela 7.

Tabela7. Médias das diferenças dos valores das faixas de UDI para cada cidade

		<i>> 100lux</i>	<i>1000 -2000lux</i>	<i>< 2000lux</i>	<i>Média</i>
Belém	<i>Daysim</i>	0.71	84.32	14.97	
	<i>Mét. Simpl.</i>	11.02	75.37	13.62	
	<i>Diferença</i>	10.31	8.95	1.35	6.87
Brasília	<i>Daysim</i>	2	86	11	
	<i>Mét. Simpl.</i>	10	77	13	

	Diferença	8	9	2	6.33
Curitiba	Daysim	4	89	8	
	Mét. Simpl.	12	79	9	
	Diferença	8	10	1	6.33

A análise da Figura 9 e da tabela 7 mostra que o método simplificado apresenta maiores valores na faixa inferior (UDI <100 lux), menores valores na faixa útil (UDI 100 – 2000 lux) e valores muito próximos na faixa superior (UDI < 2000lux). O método para obtenção das faixas de UDI (Figura 5) permite concluir que os menores valores de DA 100lux obtidos no método simplificado (Figura 8) são responsáveis pelos maiores valores encontrados para a faixa de UDI > 100lux. Os menores valores DA > 2000 lux contribuem para os menores valores encontrados para a faixa útil. A tabela 7 revela que a faixa superior possui resultados mais aproximados que as demais faixas, o que é explicado pela aproximação das curvas de DA nos maiores valores de iluminância (Figura 8).

Conclui-se que apesar das diferenças de valores encontradas para os dois métodos, as curvas mantêm sempre o mesmo perfil de comportamento. As faixas de UDI resultantes do procedimento simplificado utilizam os valores de DA para seu cálculo, implicando nas diferenças de valores encontradas para as diferentes faixas.

4.3. Análise de área interna

Visando uma análise mais detalhada da distribuição das faixas de UDI e dos valores de DA no interior do ambiente, um estudo de áreas é desenvolvido. Adota-se uma subdivisão em três zonas: 0-40%- refere-se aos valores de UDI ou DA dentro desta zona de frequência de ocorrência.; 40-80% e 80-100% - referem-se a zonas com valores de UDI ou DA dentro das respectivas faixas. A imagem é transportada para o programa AutoCad e as áreas proporcionais a cada zona são calculadas.

A figura 10 sintetiza os resultados do modelo através de gráficos em relação às áreas do ambiente dentro de cada zona. Como pode ser observado, todas as cidades apresentam comportamentos semelhantes, sendo que na porcentagem de área compreendida nas zonas de UDI inferior há uma maior aproximação dos resultados. Já na zona útil há uma maior diferença na porcentagem de área compreendida em cada zona, o que também é constatado para a DA de 500 lux.

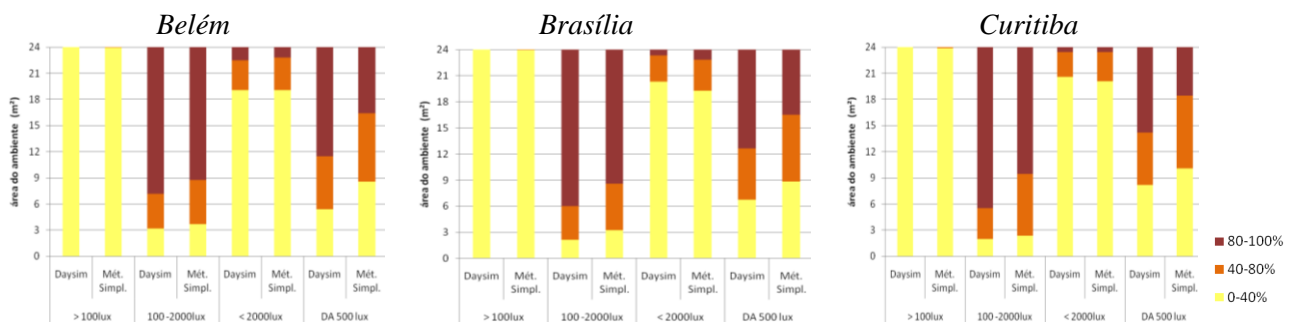


Figura 10 – Comparação por área de ambiente dentro de cada faixa de UDI

A análise da Figura 10 permite concluir que a faixa útil e a DA500 lux apresentaram maior discrepância nos valores por área de ambiente devido ao fato de haver uma grande variação nos valores resultantes para essas faixas. Diferentemente, nas faixas extremas (inferior e superior), os valores variam menos, sendo na maioria das vezes próximo de zero na faixa superior e muito baixos na faixa inferior, o que explica a maior homogeneidade nas zonas comparadas, que ficam compreendidas na mesma zona de análise por área.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia simplificada para obtenção de indicadores dinâmicos de desempenho da luz natural. Os resultados obtidos através da comparação entre a simulação computacional no programa Daysim e o método apresentaram diferenças significativas, como menores valores de DA para o método proposto e semelhança na distribuição interna das faixas de UDI, consequência das diferentes concepções das simulações utilizadas. A simulação dinâmica considerou reflexões internas e todas as horas de incidência de luz direta e difusa (variações ao longo do ano) para todos os parâmetros avaliados. Já o método simplificado utilizou o DF como base para o cálculo destes parâmetros, implicando nos resultados,

uma vez que apresentou diferenças com os resultados dos valores de DF para os pontos calculados no *Daysim*. Há de se considerar que o uso de diferentes métodos ou programas de simulação para obtenção do DF pode gerar diferenças nos resultados obtidos.

Os indicadores de desempenho dinâmico – *DA* e *UDI* – foram calculados através de um método que exclui as variáveis ambientais como a radiação solar e as reflexões internas no seu procedimento de cálculo. O método proposto, por utilizar como parte de seu procedimento o uso dos gráficos de frequência de ocorrência de iluminâncias horizontais difusas, fez com o mesmo apresentasse menores valores de *DA*, implicando nas diferenças encontradas nas faixas de *UDI* calculadas. Apesar destas diferenças, constatou-se que a distribuição no interior do ambiente ficou muito próxima ao da simulação no *Daysim*, considerando o fato de que a simulação foi realizada com o modelo orientado ao sul, caracterizando uma limitação do método proposto. Regiões que apresentam poucas horas de exposição ao sol seriam mais indicadas para a aplicabilidade do método, porém, no trabalho de Baker e Steemers (2002), há a proposta de um fator de correção de orientação que poderia ser aplicado no método proposto, permitindo sua utilização para as demais orientações.

As informações contidas neste documento sugerem que o método alternativo proposto torna-se "viável", podendo ser utilizado por projetistas de edificações, que poderão encontrar informações relevantes o suficiente para decisões de projeto baseadas na luz natural, desde que sejam capazes de interpretar e avaliar os resultados. O método simplificado também é uma ferramenta atraente para demonstrar o desempenho da luz natural para profissionais que não possuem conhecimento a respeito de simulação dinâmica, uma vez que permite uma avaliação do fenômeno no decorrer do processo de projeto.

Variáveis como o conforto, a satisfação do usuário e a eficiência energética de edificações caracterizam um edifício de alto desempenho, juntamente com o uso eficiente dos sistemas de iluminação. O método permite uma avaliação quanto a eficiência energética do edifício, uma vez que permite uma avaliação do comportamento dinâmico da luz natural no período anual. Cabe ao arquiteto promover esse uso eficiente através do correto planejamento de sistemas de iluminação natural e artificial, que deve ocorrer desde a concepção inicial do projeto. Para isso, a utilização de simulações e metodologias de análise é imprescindível, uma vez que permitem conhecer previamente o comportamento da luz no espaço, auxiliando as escolhas e as decisões do projeto durante seu desenvolvimento. Espera-se que este estudo contribua com informações acerca do processo de avaliação do desempenho luminoso e sirva de auxílio para a inclusão da iluminação natural no processo de projeto de edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUCCI, Marcia Peinado. “Eficiência da Iluminação Natural: Procedimento de Cálculo/ Software LUX 1.0”. São Paulo. In: Anais do NUTAU 2002- Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. São Paulo, NUTAU 2002. p.626-633.
- CLARO, Anderson. “Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade Aplicado à Iluminação Natural.” Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.
- BAKER, Nick ; STEEMERS, Koen. *Daylight Design of Buildings*. London, James&James, 2002.
- GALASIU A, REINHART CF. *Current daylighting design practice: a survey*. Building Research and Information 2008;v36(2):159 -174
- NABIL A, MARDALJEVIC J. *Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings*. Lighting Research & Technology 2005;37(1):41- 59
- NABIL A, MARDALJEVIC J. *Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors*. Energy and Buildings 2006;38(7):95 -130
- REINHART, C.F.; FITZ, A. (2006) *Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design*, *Energy and Buildings*, (38):824-835.
- REINHART, C. F . *Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design*. Institute for research in Construction National Research Council Canada, Canada. 2006.
- REINHART C F, J WIENOLD, “The Daylighting Dashboard - A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces”. *Building and Environment*, 2011 46:2 386-396