



**IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**  
Foz do Iguaçu – Paraná – Brasil  
7 a 10 de maio de 2002

## **APLICAÇÃO DA FERRAMENTA *DF METER* PARA AVALIAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE ABERTURAS**

**Adriano Kremer<sup>1</sup>, Fernando Oscar Ruttkay Pereira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>LABCON – Laboratório de Conforto Ambiental  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo / UFSC  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Caixa Postal 476, Florianópolis – SC  
88040-900 Brazil  
Tel.: +55 48 331 5174, FAX: +55 48 234 1519  
Email: adkremer@arq.ufsc.br, feco@arq.ufsc.br

### **RESUMO**

O trabalho tem como objetivo principal atestar a ferramenta simplificada desenvolvida para o Concurso Internacional de Arquitetura “*Working in the city*” (1988) para determinação do *DF*. Esta ferramenta chamada *Daylight Factor Meter (DF Meter)* é aplicada para estudos com modelos em escala reduzida, sob condição de céu encoberto não necessitando a utilização de luxímetros ou fotocélulas. Com este intuito, construiu-se um modelo reduzido de um ambiente escolar para analisar a contribuição da iluminação natural em 3 sistemas de aberturas: unilateral, bilateral, bilateral + *light shelf*. Como forma de aferição da ferramenta, foram comparados valores de *DF* provenientes de medições simultâneas (doze pontos internos) entre a ferramenta em estudo e fotocélulas. Os resultados comprovaram que o método (*DF Meter*) utilizado pode ser eficaz, didático e rápido, permitindo avaliações tanto quantitativas como qualitativas da penetração de luz natural no edifício.

Palavras-chave: iluminação natural; Daylight Factor Meter.

### **1. INTRODUÇÃO**

O uso da iluminação natural pode trazer vantagens significativas nos custos econômicos, reduzindo gastos desnecessários com energia elétrica bem como contribuindo para obtenção de bem-estar no ambiente.

As edificações escolares apresentam um enorme potencial para o aproveitamento da iluminação natural visto o tipo de uso que apresentam, onde os gastos com energia elétrica podem se restringir a uma iluminação complementar.

A iluminação natural no interior do ambiente dependerá principalmente da disponibilidade externa de iluminação relacionada diretamente com a condição de céu e do tipo de sistema de aberturas utilizado (geometria).

Para desenvolver análises de iluminação em alguns destes sistemas de aberturas utilizou-se o método proposto pelo Daylight Factor Meter. Esta ferramenta foi desenvolvida para o Concurso Internacional de Arquitetura “*Working in the city*” (ECAIC, 1988) como forma de avaliar quantitativa e qualitativamente a penetração de luz natural no edifício.

O método consiste na medição de valores de Daylight Factor utilizando esta ferramenta desenvolvida para analisar modelos em escala reduzida, não necessitando utilizar aparelhos eletrônicos de medição (luxímetros ou fotocélulas).

Desta forma, o trabalho tem a intenção de estudar o Daylight Factor em um modelo reduzido com 3 sistemas de abertura diferenciados utilizando a ferramenta DF Meter. Paralela a medição com esta ferramenta realizou-se medições com 2 fotocélulas (uma interna e outra externa) a fim de atestar o método em questão.

## 2. DAYLIGHT FACTOR METER

O Daylight Factor é definido pela seguinte expressão (BATSFORD, 1995):

$$DF = (\text{Iluminância interna no ponto de interesse} / \text{Iluminância externa}) \times 100\% \quad [1]$$

O Daylight Factor Meter é uma ferramenta indicada para determinar o Daylight Factor em modelos em escala reduzida especificamente sob condição de céu encoberto, onde temos a porção zenital com três vezes mais luminância que a porção de céu próxima à linha do horizonte (CIE, 1996).

O DF Meter (Figura 1) consiste em duas pequenas câmaras brancas: a “câmara de medição” e a “câmara de céu”, conectadas por um “corredor escuro”. O “ambiente de medição” é iluminado por luz que chega a uma “janela difusora” no topo do “ambiente de medição”, o qual representa o plano de trabalho em um modelo na escala de 1:20 a aproximadamente 75 cm acima do piso. O “ambiente de céu” é iluminado com luz vinda do céu que atravessa uma “zenital difusora” e passa por uma “torre de luz” (BATSFORD, 1995).

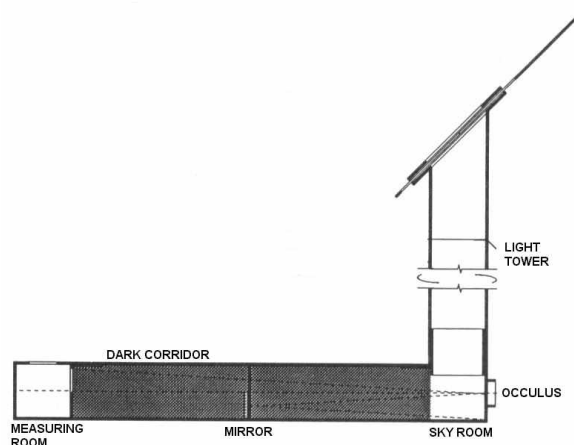


Figura 1: Esquema em corte do DF Meter (Fonte: BATSFORD, 1995)

Através de um “orifício” na parede do ambiente de céu, o “óculo”, olha-se para o ambiente de medição através do corredor. No entanto, no meio do corredor inferior existe um espelho permitindo uma vista do ambiente de céu também. Olhando acima do espelho enxergamos o ambiente de medição; olhando o espelho na parte inferior enxergaremos o ambiente de céu. As duas superfícies do ambiente aparecem adjacentes na vertical.

O princípio do medidor é permitir ao operador comparar simultaneamente as iluminâncias do interior e do exterior com base na comparação do brilho das duas superfícies. O operador varia a abertura do medidor

até que o brilho das duas superfícies sejam idênticos quando vistos no óculo do medidor. Neste ponto, a escala de abertura mostrada corresponde ao valor do *Daylight Factor* (BATSFORD, 1995; ECAIC, 1988).

O *DF Meter* em um ambiente é sempre muito menor que 100% sendo que a torre de luz já reduz cerca de 75% do valor do *DF* e o restante da redução (até 25%) é obtido em função da proporção de abertura do medidor no alto da torre de luz.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Delimitação do modelo a ser analisado

Em virtude de ter-se voltado o estudo para uma edificação escolar, procurou-se desenvolver o modelo baseado no ambiente de uma sala de aula. Para isso, idealizou-se o modelo de forma que o mesmo representasse uma sala de aula usual na maior parte das instituições de ensino da região. A sala de aula representada pelo modelo em escala reduzida (Figura 2) apresenta as dimensões de 8 x 6m.



Figura 2: Modelo em escala reduzida com a ferramenta de medição

#### 3.2 Identificação das variáveis a serem medidas

A principal variável de medição foi o *DF*, fornecido pela ferramenta *DF Meter*. Também foram promovidas medições de iluminâncias externas e internas, através de fotocélulas conectadas a um *Datalogger*. As medições internas ocorreram no centro de gravidade de uma malha de 2 x 2m (Figura 3) na altura do plano de trabalho (75cm acima do nível do piso) totalizando 12 pontos de medição internos.

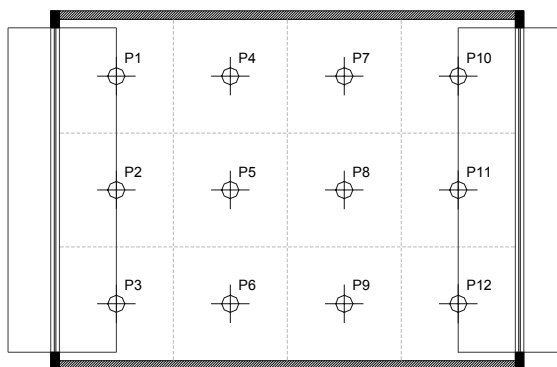


Figura 3: Modelo em escala reduzida com a ferramenta de medição

### 3.3 Ferramental utilizado

A principal ferramenta de medição do *DF* foi o *DF Meter*. Como forma de validar os dados foram utilizadas duas fotocélulas da marca *LI-COR*, modelo *PHOTOMETRIC*, sendo que uma efetuou a medição interna de iluminâncias e a outra, a medição externa. Estas fotocélulas foram conectadas ao aparelho *LI-250 LIGHT METER* da *LI-COR* para aquisição dos dados.

### 3.4 Promoção das medições

As medições foram realizadas com o modelo simulando uma edificação escolar usual. Posteriormente, foram incorporados elementos que tendem a melhorar a contribuição da iluminação natural no ambiente. Com este intuito, dividiu-se as medições em 3 situações:

- ① Medição com apenas abertura em uma lateral (**unilateral**) - Figura 4;
- ② Medição com aberturas nas 2 laterais (**bilateral**);
- ③ Medição com **abertura bilateral + abertura superior + light-shelf** na parte superior das 2 aberturas laterais (Figura 5).

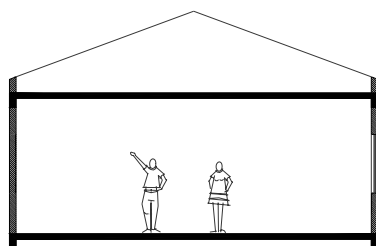


Figura 4: Corte do ambiente original

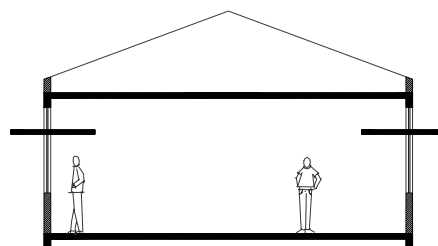


Figura 5: Corte do ambiente modificado

### 3.5 Análise dos resultados

O principal método de análise dos dados foi através da observação de gráficos de "iso $DF$ ". Para analisar quantitativamente os valores de  $DF$  e sua distribuição, foi realizada uma análise estatística simplificada. Através da Tabela 1 também avaliou-se os pontos com relação a contribuição da iluminação natural em 4 categorias diferentes de zonas: clara, média, escura e muito escura.

Tabela 1: Divisão das categorias do *Daylight Factor*

Zona	$DF$	Contribuição do $DF$
Clara	$DF > 6\%$	muito grande
Média	$DF 3 - 6\%$	grande
Escura	$DF 1 - 3\%$	média
Muito escura	$DF < 1\%$	pouca

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições finais foram realizadas no dia 30/09/2000 na praça cívica da UFSC, em local com baixo nível de obstrução do entorno, sob condição de céu encoberto.

### 4.1 Situação 1: Abertura unilateral

Através da observação das Figuras 6 e 7 percebe-se uma acentuada semelhança na distribuição dos valores de  $DF$  apresentados pelo *DF Meter* e pelas fotocélulas. Em ambos, fica nítida a distribuição dos níveis de

iluminação natural interno maiores próximo a abertura lateral, diminuindo gradualmente em direção à superfície oposta à abertura.

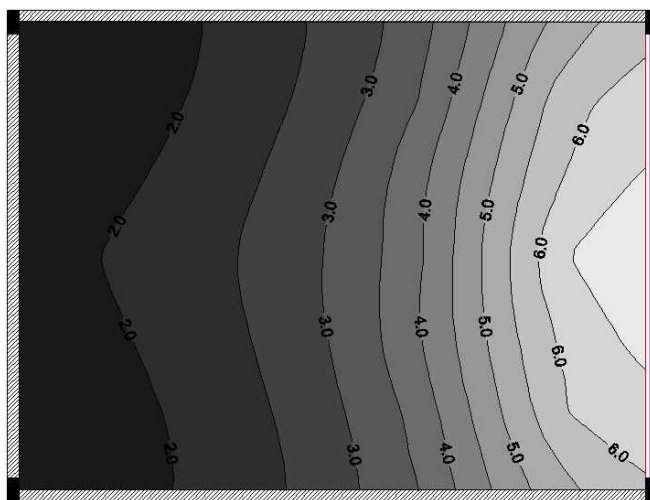


Figura 6: Curvas isoDF sistema unilateral (DF Meter)

Pelos valores de  $DF$  próximo a superfície oposta à abertura, pode-se observar, de forma mais clara, que os níveis de  $DF$  proporcionados pela ferramenta de estudo (Figura 6) apresentam níveis um pouco mais elevados que os valores produzidos pela relação entre as fotocélulas (Figura 7).

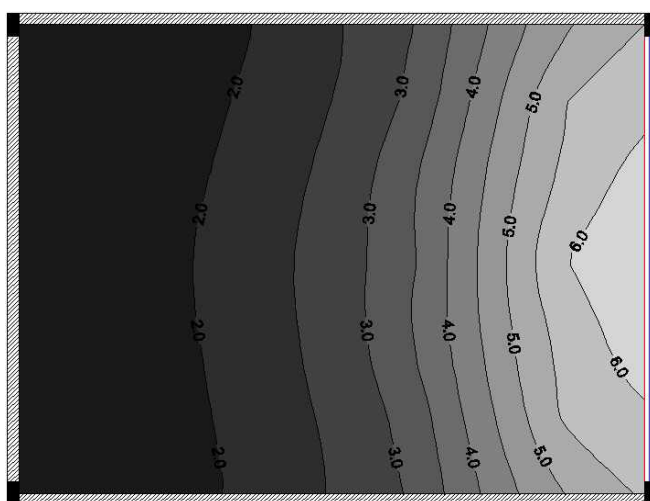


Figura 7: Curvas isoDF sistema unilateral (DF fotocélulas)

É importante salientar que as curvas próximas das paredes apresentam distorções. Isto se deve em razão do software utilizado (*Surfer*, versão 5.0) necessitar de um valor de  $DF$  em pelo menos um ponto de cada superfície com o intuito de promover as interações necessárias do método utilizado (*Kriging*).

Através da utilização do critério de análise proposto na Tabela 1, pode-se caracterizar o ambiente como sendo de grande heterogeneidade nos níveis de iluminação interno, pois temos pontos nas 3 zonas delimitadas. Próximo a abertura temos valores de  $DF$  em torno de 6% (zona clara), no centro 3% (zona média) e próximo a parede 2% (zona escura).

## 4.2 Situação 2: Abertura bilateral

As Figuras 8 e 9 mostram que nesta situação temos uma melhor distribuição interna com amplitudes menores se comparadas com a situação 1. Os valores de DF diminuem gradualmente da abertura em direção ao centro do ambiente.

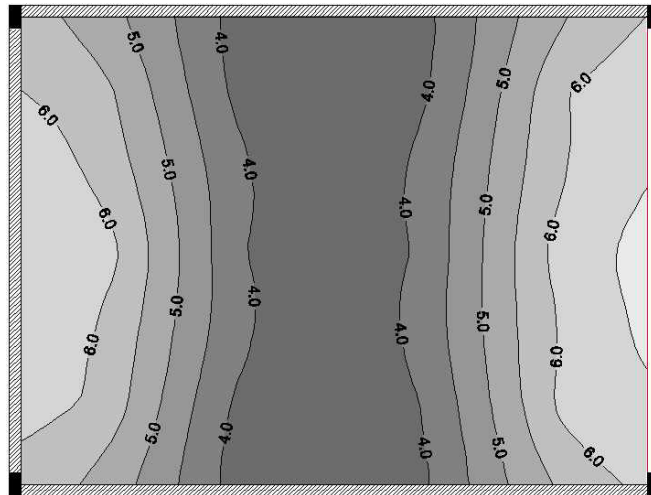


Figura 8: Curvas isoDF sistema bilateral (DF Meter)

Assim como a situação anterior, os valores de DF determinados pela ferramenta *DF Meter* são maiores que os calculados pela relação entre as fotocélulas.

Nesta situação temos uma distribuição diferenciada da anterior em razão deste sistema servir o ambiente por aberturas nas duas laterais. Sendo assim, a distribuição dos níveis internos de iluminação tornam-se mais uniformes com uma menor amplitude entre os valores.

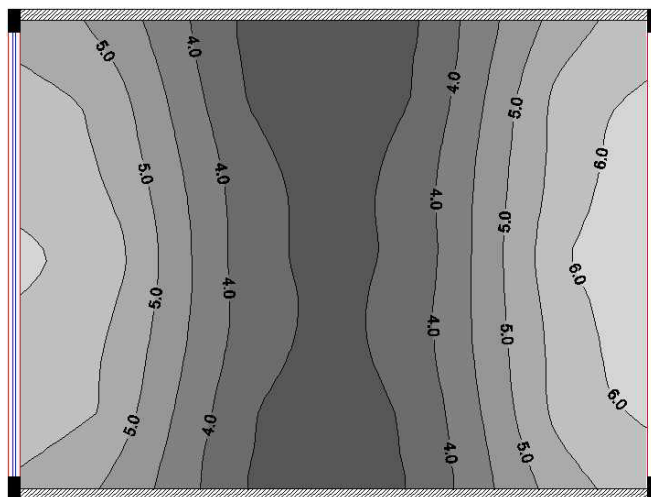


Figura 9: Curvas isoDF sistema bilateral (DF fotocélulas)

Observando-se as Figuras 8 e 9 nota-se que aparecem valores menores na região esquerda das figuras do que na direita. Isto pode ter sido ocasionado por irregularidades da condição de céu no momento das medições.

### 4.3 Situação 3: Abertura bilateral + *light shelf*

Através da observação das Figuras 10 e 11, nota-se uma distribuição semelhante das curvas isoDF da situação 2 em razão de, nas duas situações, existirem aberturas nas duas laterais.

Com a aplicação do *light shelf* e uma abertura superior, os índices internos de iluminância diminuirão. Isto aconteceu não só na região próxima as aberturas mas também nas áreas mais afastadas das mesmas. Mesmo aumentando-se a área de janela para uma mesma área de piso, o uso do *light shelf*, acabou diminuindo o índice médio de iluminação interna. Entretanto, a distribuição tornou-se mais homogênea com uma pequena amplitude entre os valores de DF em todo o ambiente.

Assim como nas situações anteriores, nesta os valores do *DF Meter* foram mais elevados que os das fotocélulas.

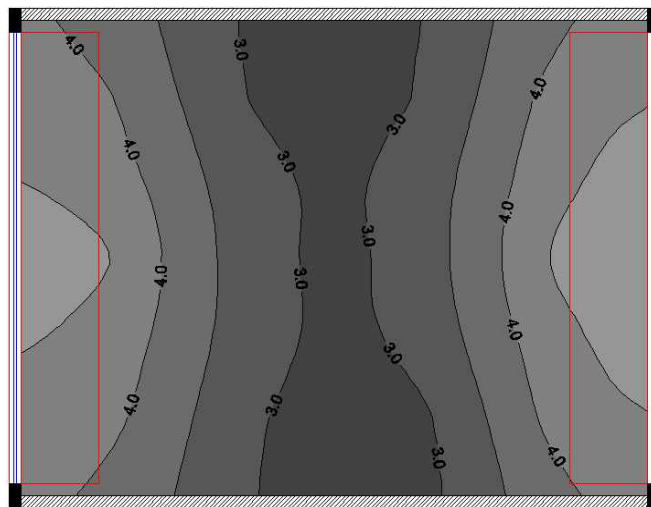


Figura 10: Curvas isoDF sistema bilateral + light shelf (DF Meter)

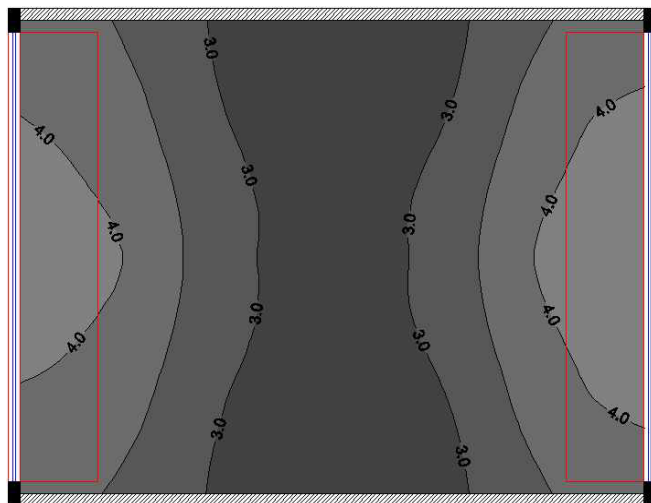


Figura 11: Curvas isoDF sistema bilateral + light shelf (DF fotocélulas)

#### 4.4 Análise estatística simplificada

Sintetizando estatisticamente os dados das medições dos 12 pontos para as 3 situações diferentes (Tabela 2 e 3) temos em ordem decrescente os maiores valores médios de *DF* nas situações: 2 (bilateral), 3 (bilateral + *light shelf*) e 1 (unilateral).

Tabela 2: Valores de *DF* (Meter) para as 3 situações

Situação	Maior valor	Menor valor	DF Médio	Desvio-padrão
Unilateral	6.5	1.7	3.5	1.7
Bilateral	6.3	3.7	4.9	1.2
Bilateral + LS	4.7	2.8	3.7	0.7

Tabela 3: Valores de *DF* (fotocélulas) para as 3 situações

Situação	Maior valor	Menor valor	DF Médio	Desvio-padrão
Unilateral	6.0	1.6	3.2	1.6
Bilateral	6.0	3.4	4.7	1.1
Bilateral + LS	4.3	2.7	3.4	0.6

Se utilizarmos o critério do menor desvio padrão para caracterizar a melhor distribuição temos na situação 3 a melhor distribuição enquanto que na situação 1 temos a pior.

A situação 1 (unilateral) apresentou os menores valores médios, a maior variação absoluta interna e a pior distribuição interna de *DF*. A situação 2 apresentou os maiores índices de iluminação, mas com uma distribuição menos homogênea que a situação 3. Já a situação 3 apresentou níveis moderados de iluminação com a melhor distribuição interna de iluminação.

Através das Tabelas 2 e 3 podemos perceber a diferença entre os valores de *DF* coletados pela ferramenta simplificada e pela relação das fotocélulas. Nota-se os valores mais elevados de *DF* na ferramenta, mostrando que o *DF* Meter não tem a mesma precisão das fotocélulas. Entretanto, esta diferença não compromete o resultado apresentado e é aceitável em se tratando de uma ferramenta simplificada.

Quanto ao critério de dividir os valores em diferentes zonas de contribuição da iluminação natural, temos nas Tabelas 4 e 5 a distribuição dos sistemas em função das zonas.

Tabela 4: Divisão das zonas do *DF* (meter)

Zonas	Unilateral (%)	Bilateral (%)	Bilateral + LS (%)
Clara	16.7	33.3	0.0
Média	33.3	66.7	83.3
Escura	50.0	0.0	16.7

Tabela 5: Divisão das zonas do *DF* (fotocélulas)

Zonas	Unilateral (%)	Bilateral (%)	Bilateral + LS (%)
Clara	8.3	8.3	0.0
Média	41.7	91.7	66.7
Escura	50.0	0.0	33.3



O sistema unilateral em ambas as situações apresentou 50% dos pontos na zona escura. Estes pontos estão situados do centro do ambiente para a lateral perpendicular a abertura. A zona clara (menor incidência) corresponde aos valores obtidos próximo a abertura.

O sistema bilateral proporcionou a maior contribuição de iluminação natural, sendo que a maioria de seus pontos estão situados na zona média. Também aparecem áreas com zona clara. Não houve ocorrência de pontos na zona escura.

O sistema bilateral + light shelf apresentou em sua maioria pontos na zona média. Não foram localizados pontos na zona clara.

## 5 CONCLUSÕES

O método alternativo utilizado para cálculo do *DF* mostrou-se eficaz, didático e rápido. O método facilita a avaliação do desenho de iluminação em um modelo em escala reduzida, onde o usuário não necessita possuir instrumentos (luxímetros ou fotocélulas) para realizar análises e avaliações a respeito da contribuição da iluminação natural no interior do ambiente.

Outro aspecto positivo da ferramenta foi o de permitir tanto avaliações quantitativas como qualitativas da penetração de luz natural no edifício.

Entretanto, vale salientar que o observador pode ter influência na leitura do valor do *DF* determinado pela ferramenta de estudo. Nas situações medidas não conseguiu-se definir com total precisão o ponto exato de leitura do valor do *DF*. Conseguiu-se definir melhor um intervalo, não um ponto.

É preciso ter em mente que o *DF Meter* trata-se de uma ferramenta simplificada de auxílio ao projetista para análises de iluminação natural, não podendo-se esperar que a mesma apresente valores idênticos aos fornecidos por instrumentos de medição.

Em se tratando da análise da distribuição do *DF* nas diferentes situações, pode-se concluir que a situação com abertura unilateral apresentou os menores valores médios, a maior variação absoluta e a pior distribuição interna de *DF*.

A situação 2 (bilateral) apresentou o maior valor médio de *DF* sendo que seus pontos ficaram situados na zona de contribuição média e clara. Entretanto, sua distribuição não foi a mais homogênea.

Utilizando-se o critério do menor desvio padrão para caracterizar a melhor distribuição interna temos a situação 3 (bilateral + *light shelf*) com a melhor performance diante das condições do estudo. Esta situação apresentou um valor intermediário de *DF*, com a maioria de seus pontos localizados na zona de contribuição média.

*Light shelf* se mostrou um mecanismo válido para diminuir os níveis de iluminação próximos a abertura, com consequente diminuição do contraste entre os valores de *DF* nos diversos pontos de estudo, resultando em uma distribuição de iluminação mais uniforme.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Handbook da BATSFORD - *Energy in architecture*. Batsford for the Commission of the European Communities. B. T. Batsford: Dublin, 1995.

CIE STANDARD, *Spatial distribution of daylight - luminance distributions for various reference skies*. Commission Internationale de L'Eclairage, Publication CIE, Vienna, Austria (1996).

ECAIC - European Communities Architectural Ideas Competition - *Working in the city: competition conditions and procedures*. Dublin, 1988.

## 9 AGRADECIMENTO

Ao Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon/UFSC) pelo empréstimo de todos os equipamentos necessários para realização das medições.

