

ANÁLISE DO 1º ANO DE DADOS DA ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL DE FLORIANÓPOLIS, EMIN - FLORIPA

**Roberta Vieira Gonçalves de Souza (1,2); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (1);
Otavio Augusto Fuck Pereira (1)**

(1) Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura e Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil - CTC – Universidade Federal de Santa Catarina

Tel: +48 3317080 Fax: +48 3319550

e-mail: roberta@arq.ufmg.br; feco@arq.ufsc.br

(2) Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da Escola de Arquitetura Universidade Federal de Minas Gerais - Rua Paraíba, 697 – Funcionários, BH/MG 30.130-140

Tel: +31 3269 1823 Fax: +31 34432714

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar uma compilação dos dados medidos pela Estação de Medição de Iluminação Natural de Florianópolis, relativos ao ano de 2002. Apresenta-se aqui, em linhas gerais, o tratamento de dados adotado, a forma de apresentação de dados diários, mensais e anuais, com níveis de iluminância difusa e global e frequência de ocorrência de tipos de céu. A Estação Padrão de Medição de Iluminação Natural de Florianópolis, EMIN Floripa, foi estabelecida de acordo com as normas do *International Daylighting Measurement Programme*, Programa Internacional de Medição de Iluminação Natural, IDMP, e suas medições são feitas de acordo com as recomendações da Comissão Internationale de l'Eclairage, *Guide to recommended practice of daylight measurement*, Guia para a prática de medições de iluminação natural (CIE 108, 1994).

Tópico: 4. Clima e Microclima relacionados ao Conforto Ambiental

ABSTRACT

Since December 2001, a Daylighting Measurement Station, EMIN, started to operate in Florianópolis, South Brazil, latitude 27° 22' South and longitude 48° 43' West. This paper intends to present the data compiled after one year of measurements. Besides the data treatment it's also presented daily, monthly and annual graphics, with global and diffuse illuminance levels and frequency of occurrence of sky types. The EMIN Floripa was established according to the standards of the International Daylighting Measurement Programme, IDMP, described in a document of the Commission Internationale de l'Eclairage, CIE 108, 1994.

1. INTRODUÇÃO

Os dados de iluminação natural externa aqui apresentados foram compilados de acordo com as premissas e normas do projeto IDMP (*International Daylight Measurement Programme*) para medição de iluminação natural. Espera-se que estes dados, juntamente com medições a serem realizadas em outras localidades brasileiras, venham a melhorar o conhecimento do comportamento da luz natural em território nacional para aproveitamento em projetos de edificações, em sistemas de iluminação

natural e como base para avaliação de desempenho energético de edificações que usem a iluminação natural como sistema passivo.

No Brasil, trabalha-se hoje com modelos de predição de iluminação natural desenvolvidos para o Continente Europeu ou para a América do Norte. Mas estudos têm mostrado que a dinâmica da luz natural em países de clima tropical e sub-tropical difere substancialmente daquela de países de climas temperados e céus predominantemente encobertos. Acredita-se que medições sistemáticas realizadas em território natural possam jogar uma luz sobre o comportamento real do fenômeno e tornem possível uma calibração dos modelos de predição existentes, para o nosso país.

As medições sistemáticas de níveis de iluminação natural externa aqui realizadas foram feitas de acordo com a norma internacional *Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement* - Guia de Recomendações para a Prática de Medições de Iluminação Natural (CIE 108, 1994). Os dados foram tratados de forma a obter informações sobre a disponibilidade de luz natural nestas cidades: foram avaliadas a quantidade de luz e a frequência de ocorrência dos tipos de céu encoberto, parcialmente encoberto e claro.

2. GRANDEZAS MEDIDAS

De acordo com a CIE 108 (1994), as seguintes grandezas devem ser medidas em uma estação de medição de Classe Geral são iluminância global (E_g) e difusa (E_d) horizontal (em klux), irradiância global (I_g) e difusa (I_d) horizontal em W/m^2 ; iluminância e irradiância nas superfícies verticais para Norte, Leste, Sul e Oeste (E_n, E_e, E_s, E_w e I_n, I_e, I_s, I_w respectivamente) e luminância do zênite (L_z) em lm/m^2 .

A estação EMIN Floripa armazena os valores médios das grandezas medidas para cada minuto. O registro fotográfico das condições de céu é feito a cada 15 min, durante o período diurno, obtendo-se, assim, uma ferramenta extra para a análise das condições de céu local e para a verificação da classificação de tipos de céu, obtida através de Índices de Brilho e Claridade.

A estação é composta por um conjunto de sete fotocélulas LI-210SZ para medição de luminância de zênite, e iluminância horizontal global, difusa e vertical norte, sul, leste e oeste. Quatro piranômetros LI-200SZ fazem as medições das irradiâncias verticais norte, sul, leste e oeste. Os sinais emitidos pelos sensores são lidos por uma estação Campbell CR 10X, de coleta de dados. A estação faz ainda o registro fotográfico das condições de céu a cada 15 minutos, através de uma câmara digital Pixera Professional, com lente grande angular tipo “olho de peixe” Nikon FC-E8.

3. TRATAMENTO DE DADOS

Os dados de iluminância global e irradiância global e difusa (medida com disco) são obtidos diretamente dos sensores, mas os dados de iluminância difusa devem ser tratados de forma a compensar o sombreamento causado pela presença de um anel para obstrução do sol direto no sensor.

Como o anel intercepta, além da luz do sol, parte da luz proveniente da abóbada celeste, Drummond (in IQBAL, 1983) apresentou um procedimento de correção dos valores lidos que considera características de céu anisotrópico.

$$f_D = 1 / (1-X) \quad \text{[Equação 1]}$$

Onde:

$$X = (2b / \pi r) \cdot \cos 3\delta \cdot [(\pi/180) \cdot \psi_o \cdot \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cdot \sin \psi_o] \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde: b - largura do anel; ψ_o - ângulo do azimute solar ao nascer do sol; r - raio do anel; ϕ - latitude do local; δ - declinação solar

Este modelo leva em consideração apenas fatores geométricos, apresentando o mesmo valor ao longo do dia. Nenhuma anisotropia da radiação difusa, decorrente da variação da posição do sol no céu ao longo do dia ou da cobertura de nuvens é levada em consideração (ABREU et al, 1999).

Depois de feita a correção, os dados são plotados para a verificação da incidência de sol nos sensores de iluminância e irradiância difusas. Dados que apresentam anormalidades são eliminados.

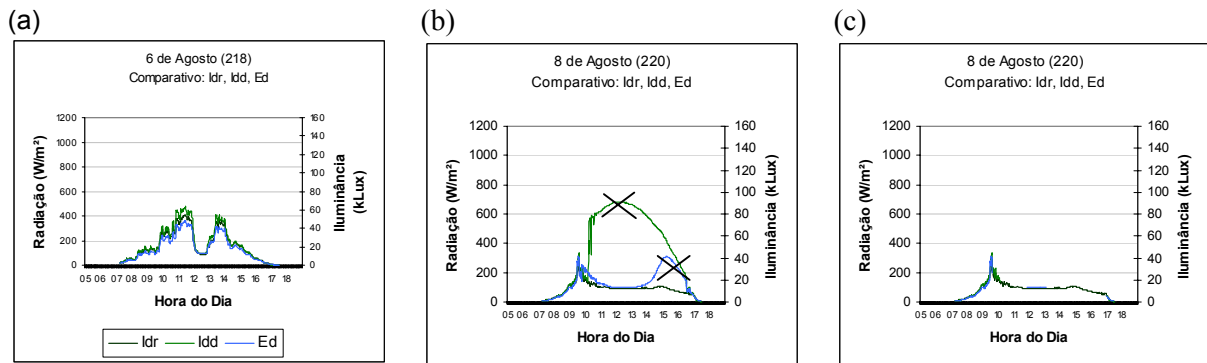


Figura 1 – Plotagem de dados de iluminância e irradiância difusas medidas com anel de sombreamento, e de irradiância difusa medida com disco. O comportamento das três medidas é bastante similar, como pode ser visto em (a). Dados em que haja incidência solar direta (b) são eliminados (c).

A comparação das 3 curvas na figura 1 acima permite a verificação da existência de incidência solar direta sobre os sensores. Curvas sem incidência apresentam comportamento idêntico – (a). No caso de haver incidência solar direta (b), os dados dos respectivos horários são eliminados (c).

3. CONDIÇÕES DE CÉU

Para a separação dos tipos de céu adotam-se dois índices: Índice de Claridade, ε' e o Índice de Brilho, Δ . Estes dois índices juntamente com a altura solar, são os componentes básicos que permitem parametrizar as condições de céu (claro, intermediário e encoberto). O primeiro índice, ε' , expressa a transição de um céu totalmente encoberto a um céu claro de baixo turvamento; as variações do segundo, Δ , refletem o grau de opacidade / espessura das nuvens.

$$\varepsilon' = \frac{\frac{(I_d + I_n)}{I_d} + 1,041 Z^3}{1 + 1,041 Z^3} \quad [\text{Equação 3}]$$

Onde, I_d - irradiância difusa; I_n - irradiância normal; Z – ângulo zenital do sol (radianos).

$$\Delta = \frac{I_d m}{I_e} \quad [\text{Equação 4}]$$

Onde : I_e - irradiância extraterrestre

Estes índices são calculados para médias de meia hora dos dados medidos. Assim pode-se analisar a frequência de ocorrência de tipos de céu em cada mês ou ao longo do ano. O índice utilizado anteriormente na classificação de céus, K_t , era representado por $k_t = I_g / I_e$, ou seja a razão entre irradiância global, I_g , e irradiância extraterrestre, I_e . PEREZ (1990, A), no entanto sugere que a parametrização entre os índices ε' e Δ , fornece informação equivalente às relações de eficácia para $K - k_t$ ou $K_d - k_t$ e que a abordagem feita por estes dois índices parece separar melhor as duas distintas características da atmosfera citadas acima. Adotam-se portanto os últimos.

Tomando-se o mês de fevereiro de 2002 como exemplo, teremos as curvas diárias de iluminância global e difusa (ver figura 2). São calculados os Índices de Claridade e de Brilho, para médias a cada meia hora. Estes valores são comparados com a informação visual das fotografias de céu (figura 3) e as horas diárias de cada tipo céu são plotadas de forma a obter-se uma visualização da flutuação das condições de céu ao longo do dia e ao longo do mês.

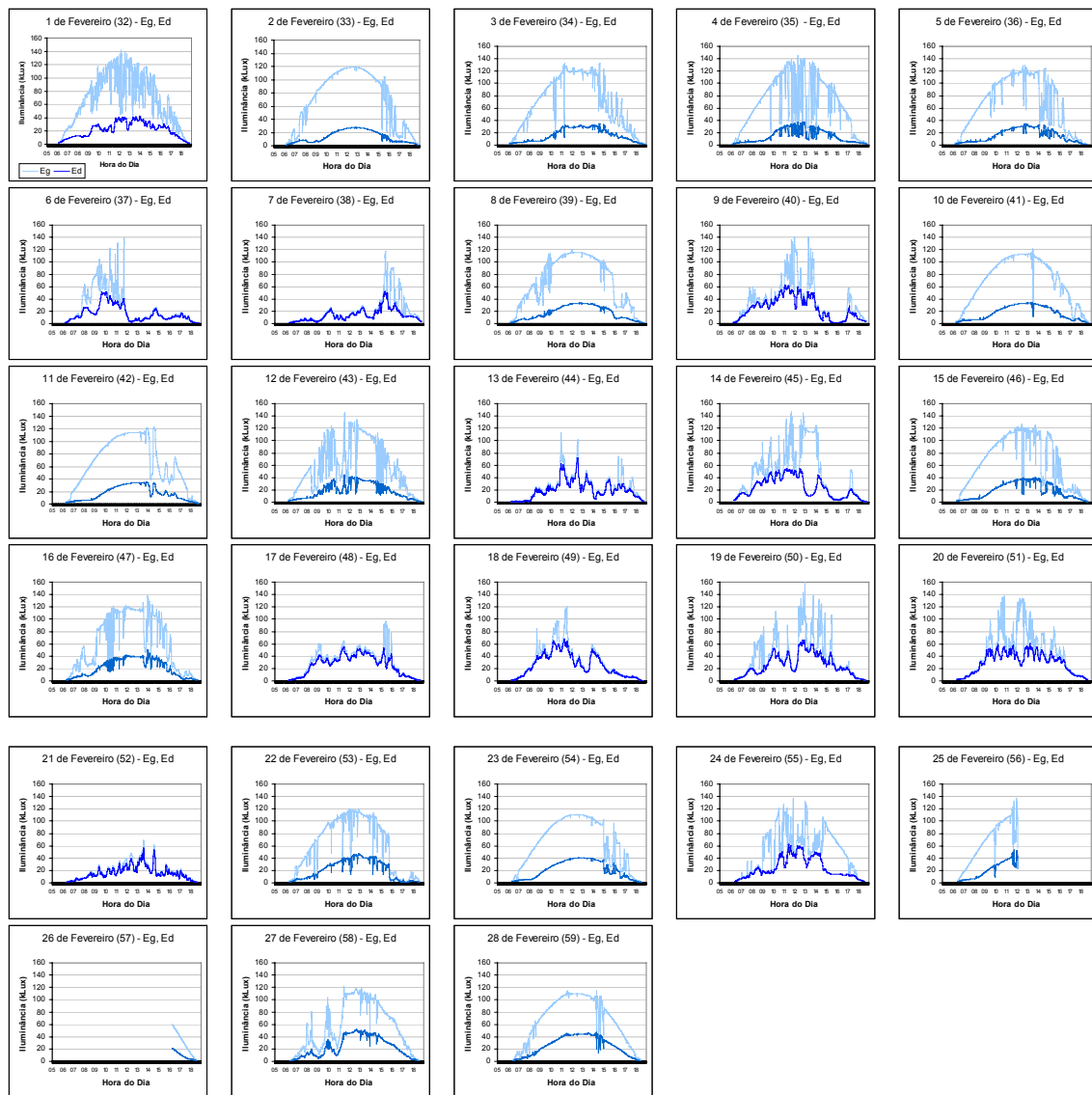


Figura 2 – Iluminâncias horizontais global e difusa medidas para o mês de fevereiro de 2002.

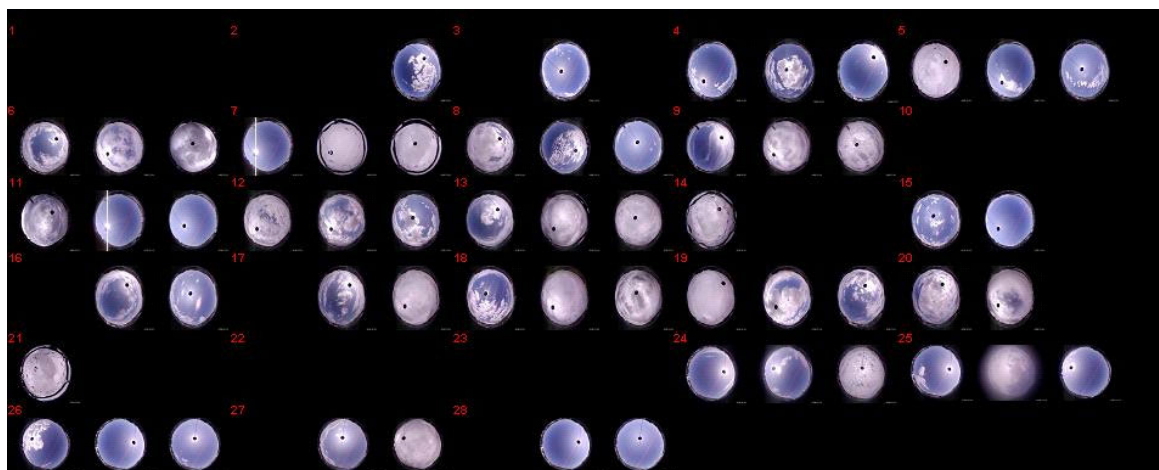


Figura 3- Fotos das condições de céu para três horários do dia (HSV – hora solar verdadeira).

As fotos permitem verificar as condições de insolação e condições de céu e a adequação dos índices, Δ e ϵ' . A análise da informação visual das fotografias permitiu que se definisse com maior clareza os

intervalos limite a serem adotados para estes índices. Inicialmente adotou-se valores de $\epsilon > 6,00$ e $\Delta < 1,23$, como indicado por PEREZ (1990, B) para caracterizar as condições de céu claro e límpido.

Pela análise visual das fotografias decidiu-se por adotar a classificação de ROBLEDO e SOLER (2000) que indica condições de céu claro para ϵ a partir de 5,00 e $\Delta < 1,2$. Sendo a classificação adotada como:

Tabela. 1 - Limites dos Índices ϵ e Δ , para classificação dos tipos de céu

Categorias de céu	ϵ	Δ
céu encoberto	1 – 1,20	>0,30
céu intermediário	1,20 – 5,00	0,12 – 0,30
céu claro	$\geq 5,00$	<0,12

A partir desta definição, pode-se então analisar a frequência de ocorrência dos tipos de céu para cada época do ano. Esta informação é bastante importante na definição dos tipos de céus para análise de desempenho dos sistemas de iluminação natural e em projetos de conservação de energia, já que cada tipo de céu implica em diferentes características de projeto e de desempenho e que “estudos indicam que a eficiência dos sistemas de controle da iluminação natural, sob o ponto de vista da economia de energia e da resposta do usuário, é fortemente dependente da distribuição de iluminação natural no ambiente” (ZONNENVELDT & MALLORY-HILL, 1998).

O clima luminoso e o total de horas de insolação são fatores determinantes no projeto e no desempenho dos sistemas de iluminação. Em climas com dias predominantemente ensolarados, o uso de sistemas de redirecionamento da insolação, como painéis prismáticos, elementos espelhados ou cortados a laser podem ser eficazmente utilizados para jogar mais luz nas porções mais profundas dos edifícios. Para os climas onde houver uma predominância de dias encobertos, outros dispositivos como sistemas anidolíticos podem ser usados. Deve-se notar ainda que alguma forma de controle da radiação solar incidente é necessária quando houver muitas horas de insolação no ano e que um sistema que favoreça maior admissão de luz deve ser usado quando houver predominância de dias encobertos. (...) A otimização do projeto de sistemas de aberturas para iluminação requer tratamento estatístico sobre a radiação e a iluminação horizontal e vertical incidentes em cada localidade. Mas o uso destes dados para fins de projeto precisa ser mais efetivamente especificado e ligado ao local (RUCK, 1998). Acredita-se que uma análise da frequência de ocorrência de tipos de céu seja a chave para indicar com mais clareza as diretrizes projetivas para a melhoria do desempenho de sistemas de iluminação natural. Toma-se como exemplo os meses de fevereiro e agosto de 2002 apresentados nas figuras 4 e 5 a seguir. São delimitadas 9 condições de céu a saber: Céus encobertos, com abóbada escura (T11), com abóbada de baixa luminosidade (T12), com abóbada de alta luminosidade (T13). Céus intermediários, com abóbada escura (T21), com abóbada de baixa luminosidade (T22), com abóbada de alta luminosidade (T23). E finalmente, céus claros, com abóbada escura (T31), com abóbada de baixa luminosidade (T32), com abóbada de alta luminosidade (T33). Este último tipo inexistente, pelo que se pode verificar dos dados medidos em Florianópolis.

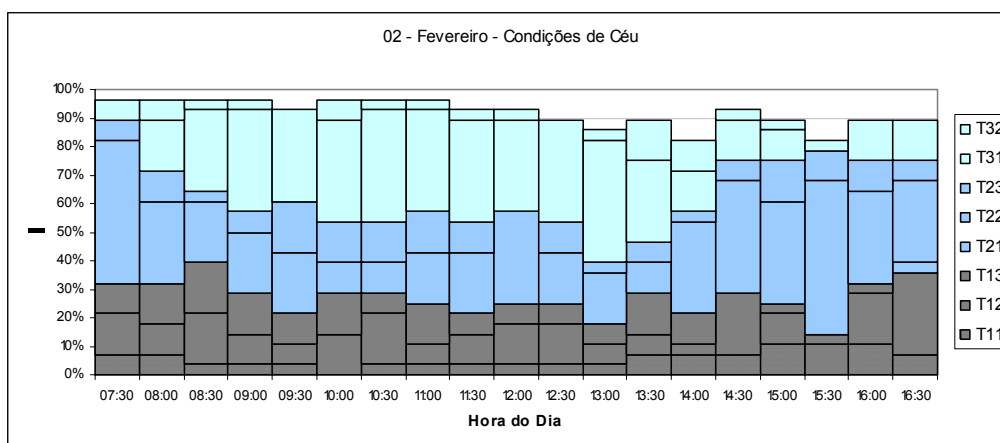


Figura 4 – Resumo das condições de céu para fevereiro de 2002 em Florianópolis.

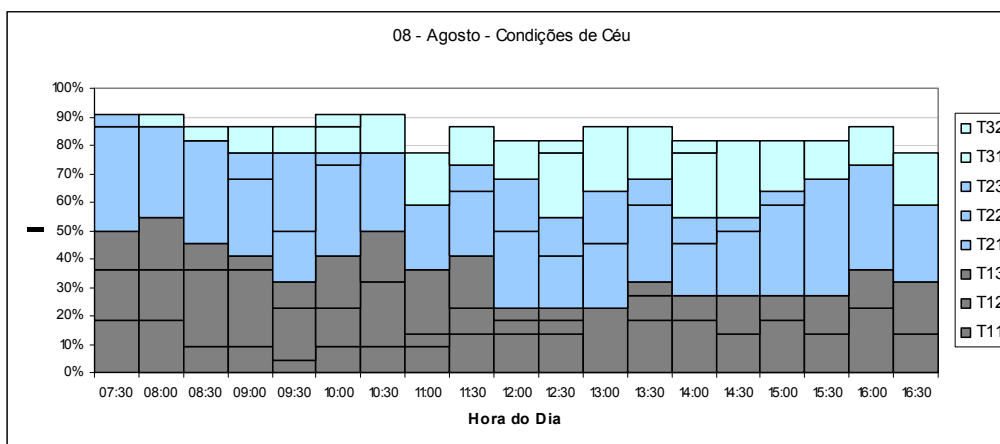


Figura 5 – Resumo das condições de céu para agosto de 2002 em Florianópolis.

Fevereiro de 2002 (figura 4) apresenta notada grande ocorrência de céus claros ou intermediários com uma composição aproximada de 30% de céus claros, 40% de céus intermediários e 30% de céus encobertos. Nota-se que o mês apresenta elevada ocorrência de céus brilhantes que representam 72% dos casos. Se a mesma análise é feita para o mês de agosto de 2002 (figura 5) notar-se-á uma maior predominância de céus escuros e encobertos e de menor luminosidade, sendo 45% dos céus classificados como encobertos, 43% como intermediários e apenas 12% como céus claros.

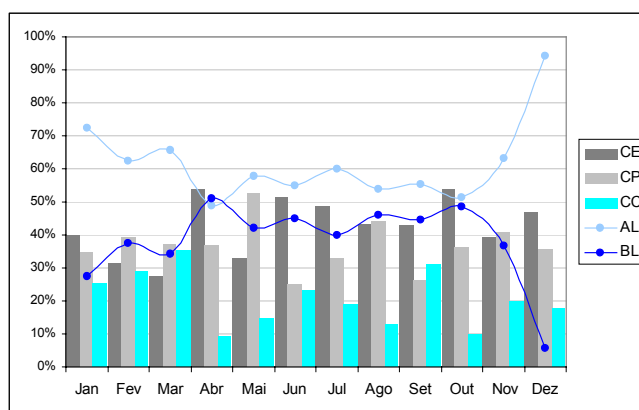


Figura 6- Resumo das condições de céu para o ano de 2002 em Florianópolis. Frequência percentual de tipos de céu claro (CC), intermediário ou parcialmente encoberto (CP) e encoberto (CE), assim como de alta e baixa luminosidade (AL, BL).

Pela figura 6, nota-se que há uma maior ocorrência de céus claros nos meses de janeiro a março, sendo a ocorrência de dias brilhantes ou de alta luminosidade também mais frequentes nesta época do ano. Os meses mais escuros, com maior presença de céus encobertos ou parcialmente encobertos são os que vão de abril a agosto. Tais características de céu indicarão a necessidade de proteção solar nos meses de verão e o favorecimento da insolação em agosto.

4. NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA GLOBAL E DIFUSA

Na área de iluminação natural para edificações geralmente trabalha-se com níveis de iluminância separados em duas componentes: a global e a difusa, a primeira que é a iluminância total em plano horizontal obtida pela iluminância do sol e do céu e a segunda relativa somente à luz do céu. A primeira será um indicativo da possibilidade de aproveitamento por sistemas de redirecionamento da luz solar. A segunda, é a componente com que comumente se trabalha na análise de desempenho de sistemas de iluminação natural em que a luz direta do sol não é considerada.

A seguir são mostrados os níveis de iluminância média mensal global obtidos para o ano de 2002. Pode-se verificar como as iluminâncias difusas médias variam de uma média máxima de 40.000 lux no

verão (dezembro) a 15.000 lux no inverno, enquanto as iluminâncias globais variam de 90.000 a 45.000 de média máxima no mesmo período (figura 7). Os gráficos de isolux da figura 8 permitem verificar a existência de níveis mais altos de iluminação para os meses de outubro a março, nos horários de 10:00 às 14:00, tanto para iluminâncias globais quanto para difusas.

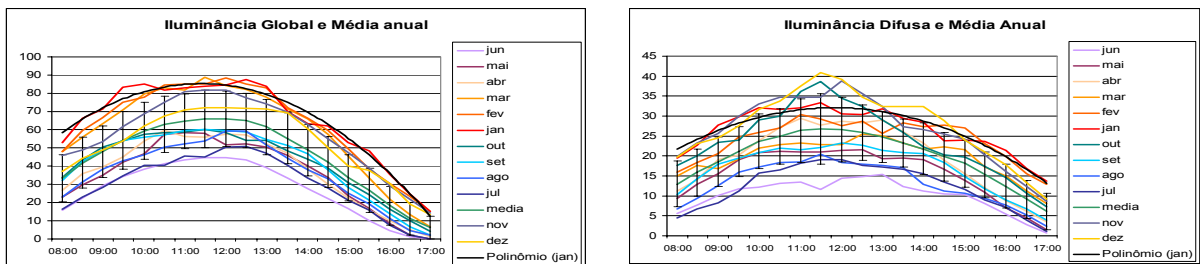


Figura 7 - Iluminâncias médias mensais globais e difusas para o ano de 2002. Florianópolis, SC.

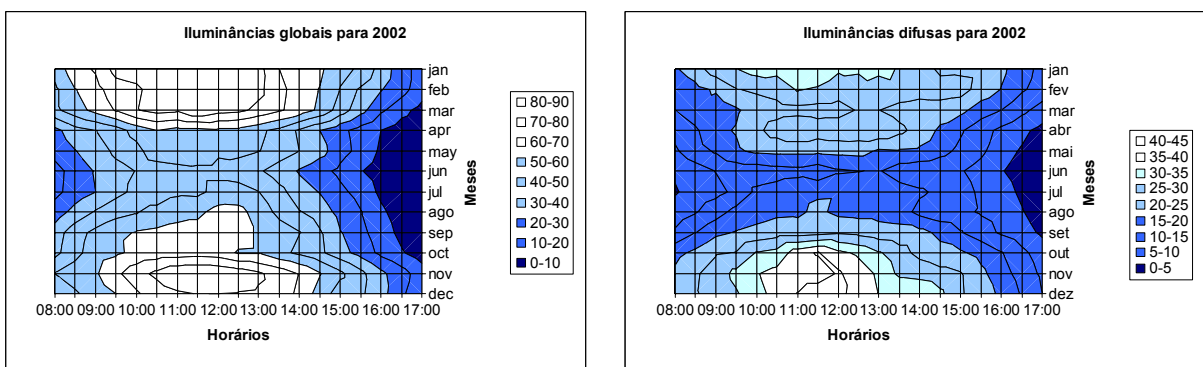


Figura 8 – Gráficos de isolux para (a) Iluminância média mensal global e (b) Iluminância média mensal difusa para o ano de 2002. Florianópolis, SC.

Os gráficos de frequência de ocorrência permitem analisar qual a porcentagem do tempo que se pode contar com níveis de iluminação acima de determinado valor. Esta informação é bastante útil para as análises que usam métodos de cálculo que fornecem o percentual de iluminação interna em relação aos níveis externos, como o FLD (fator de luz diurna ou *daylight factor*, *DF*) ou DCRL (diagrama de contribuição relativa de luz). A seguir apresentam-se, na figura 9, as frequências de ocorrência de níveis de iluminação externa para o ano de 2002 em Florianópolis SC.

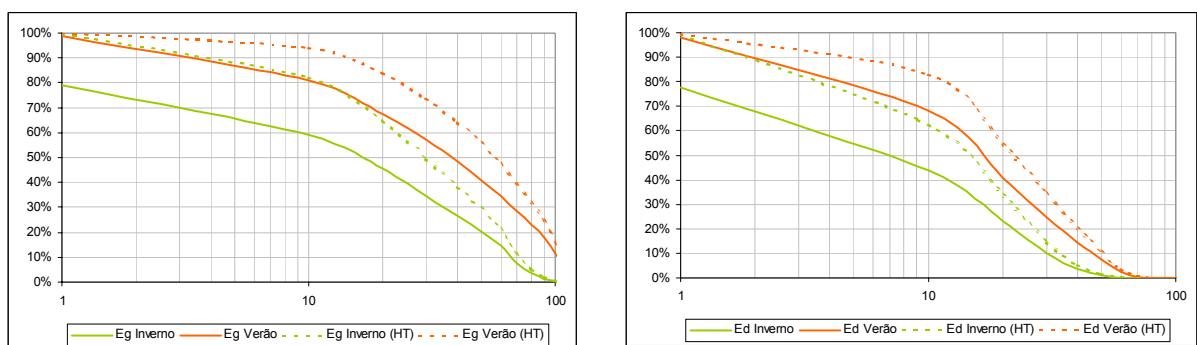


Figura 9 – Frequência de ocorrência dos níveis de iluminâncias globais e difusos para o ano de 2002. Florianópolis, SC.

8. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a primeira compilação de dados de iluminação natural externa medidos em Florianópolis/SC, durante o ano de 2002. As medições foram realizadas de acordo com os padrões estabelecidos pelo *International Daylighting Measuring Programme, IDMP*, e representam a primeira base de dados de níveis de iluminação natural externa obtidas em território brasileiro. Foram apresentados gráficos diários e mensais dos níveis de iluminância global e difusa, assim como a ocorrência de tipos de céu e a frequência de ocorrência de níveis de iluminação para o citado ano. Espera-se que este esforço seja seguido por outros em todo território brasileiro, de forma a que se possa estabelecer uma base consistente sobre a disponibilidade de luz natural no país.

9. AGRADECIMENTOS

Agradecemos às instituições de apoio à pesquisa, Conselho Nacional de Pesquisa, CNPq e Fundação de Pesquisa de Minas Gerais, FAPEMIG, pelo apoio financeiro fornecido para a montagem das duas primeiras estações EMIN, em território brasileiro. E agradecemos ao apoio e infra-estrutura fornecidos pelos Laboratório de Energia Solar, LABSOLAR-UFSC, Laboratório de Conforto Ambiental Departamento TAU-UFMG e Laboratório de Conforto Ambiental, LABCON-ARQ-UFSC.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L., COLLE, S., ALMEIDA, A. P., **Determinação de um fator de correção para a radiação difusa medida com anel de sombreamento**, Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, SP. 1999. pp 1051-1054;
- CIE 108, **Guide to recommended practice of daylight measurement**. Technical report. Commission Internationale de L'Eclairage. Publication CIE 108-1994, Vienna, Austria, 1994.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**, Academic Press, Toronto, Canada, 1983, pp 364.
- PEREZ, R.; INEICHEN, P.; SEALS, R.; MICHALSKY, J.; STEWART, R., **Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance**, Solar Energy (44), no 5, Elsevier Science Ltd., Great Britain, 1990. pp 271-289. A
- PEREZ, R.; INEICHEN, P.; SEALS, R.; ZELENKA, A., **Making full use of the clearness index for parameterizing hourly insolation conditions**, Solar Energy (45), n° 2, Elsevier Science Ltd., Great Britain, 1990. pp 111 - 114. B
- ROBLEDO, L., SOLER, A. **Estimation of direct illuminance on a horizontal surface for clear and intermediate skies**, Renewable Energy (19), Elsevier Science Ltd., Great Britain, 2000. pp 55-60. A.
- RUCK, N. **The impact of daylight availability on the design and performance of innovative daylighting systems**, in Proceedings of International Daylighting Conference '98, Ministry of Supply & Services Canada, ISBN 0-660-17496-0, Ottawa, Canada, 1998. pp 325.
- ZONNENVELDT, L., MALLORY-HILL, S. **Evaluation of daylight responsive lighting control systems**, in Proceedings of International Daylighting Conference '98, Ministry of Supply & Services Canada, ISBN 0-660-17496-0, Ottawa, Canada, 1998. pp 223-227.