

ESTABELECEMENTO DA PRIMEIRA ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM TERRITÓRIO BRASILEIRO PARA CARACTERIZAÇÃO DE ILUMINÂNCIAS DE CÉU E LUMINÂNCIA DE ZÊNITE

Roberta Vieira Gonçalves de Souza (1,2); Fernando Oscar Ruttkay 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

Desde dezembro de 2001 entrou em operação a primeira Estação de Medição de Iluminação Natural brasileira, localizada em Florianópolis, SC, latitude 27° 22' Sul e longitude 48° 43' Oeste. Serão apresentados aqui os resultados do primeiro ano de experiência na operação e manutenção de uma estação deste tipo. Espera-se que a apresentação deste trabalho encoraje e ajude a outras instituições e grupos de pesquisa que trabalhem com Iluminação Natural a estabelecer novas estações, uma vez que as grandezas que caracterizam o fenômeno da iluminação natural externa só poderão ser caracterizadas para o território nacional através da cobertura de diversas localidades com características e climas luminosos típicos de cada região brasileira.

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, divulgadas através do documento 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).

É uma estação de Classe Geral, equipada para a medição de dados de luminância de zênite, iluminância horizontal (global e difusa) e iluminância vertical de céu e irradiância vertical, nas direções norte, sul, leste e oeste. Os dados de radiação solar global e difusa, também necessários ao desenvolvimento de modelos de disponibilidade de luz, são medidos pelos equipamentos do Laboratório de Energia Solar, LABSOLAR – UFSC, localizado no mesmo sítio que a estação EMIN.

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 first results obtained after its first year of operation. We hope that this paper can help and encourage other researchers and institutions willing to settle up other EMINs

throughout the Brazilian territory. Only an extense network of stations will help us better understand the luminous climate of our country.

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.

It's a General Class Station, that measures zenith luminance, global and diffuse horizontal illuminances, north, south, east and west vertical global illuminances and irradiances. Other irradiance data, such as direct, global horizontal, and diffuse horizontal are measured by the Solar Energy Laboratory, located in the same place of the EMIN Station.

1. INTRODUÇÃO

A recente crise de fornecimento de energia elétrica ocorrida no Brasil, com a ocorrência de apagões em 2001 e a urgência na construção de novas usinas para geração de energia nos chamou atenção para a definitiva necessidade de se economizar energia e para a busca de novas fontes alternativas para a substituição do uso de energia elétrica em nosso país.

Neste contexto, a **iluminação natural**, desperta cada vez mais atenção como fonte de energia alternativa, na substituição ou complementação da **iluminação artificial**. São bastante recentes os esforços no sentido de quantificar de forma adequada a disponibilidade de luz natural através do mundo. O projeto IDMP (International Daylight Measurement Programme) para medição de iluminação natural foi lançado em 1991 na Europa, pouco mais de uma década atrás. Apenas em 1996, foi lançado o primeiro Atlas Europeu de Iluminação Natural.

No Brasil, apenas a partir de dezembro de 2001, iniciou-se a medição sistemática de níveis de iluminação natural externa, 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), em Florianópolis/SC, estando uma segunda estação, a ser localizada em Belo Horizonte/MG, com início de funcionamento previsto para o segundo semestre de 2003.

2. GRANDEZAS MEDIDAS

De acordo com a CIE 108, 1994, as seguintes grandezas devem ser medidas em uma estação de medição de Classe Geral.

1. Iluminância global horizontal (E_g) em klux;
2. Iluminância difusa horizontal (E_d) em klux;
3. Irradiância global horizontal (I_g) em W/m^2 ;
4. Irradiância difusa horizontal (I_d) em W/m^2 ;
5. Iluminância de céu e de sol nas superfícies verticais orientadas para Norte, Leste, Sul e Oeste (E_n , E_e , E_s , E_w) em klux;
6. Irradiância de céu e de sol nas superfícies verticais orientadas para Norte, Leste, Sul e Oeste (I_n , I_e , I_s , I_w) em W/m^2 ;
7. Luminância do zênite (L_z) em lm/m^2 .

A estação EMIN Floripa realiza estas medições a cada 5 segundos, armazenando dados médios de cada minuto. Faz-se ainda o registro fotográfico do céu a cada 15 min, durante o período diurno, obtendo-se uma ferramenta extra para a análise das condições de céu local.

3. MONTAGEM DA ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL

3.1 Localização

A estação de iluminação natural de Florianópolis ($27^{\circ} 32'$ de latitude sul e $48^{\circ} 43'$ de longitude oeste), se localiza na cobertura do prédio de Engenharia Mecânica da UFSC, junto à estação de medição de radiação solar do Laboratório de Energia Solar, LABSOLAR, Campus da Universidade Federal de

Santa Catarina e foi montada com o apoio e infra-estrutura física do último e recursos do Laboratório de Conforto Ambiental, LABCON do Departamento de Arquitetura da mesma instituição, obtidos em grande parte através de projeto financiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa, CNPq.

3.2 Equipamentos

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 de irradiancias 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 olho de peixe FC-08.

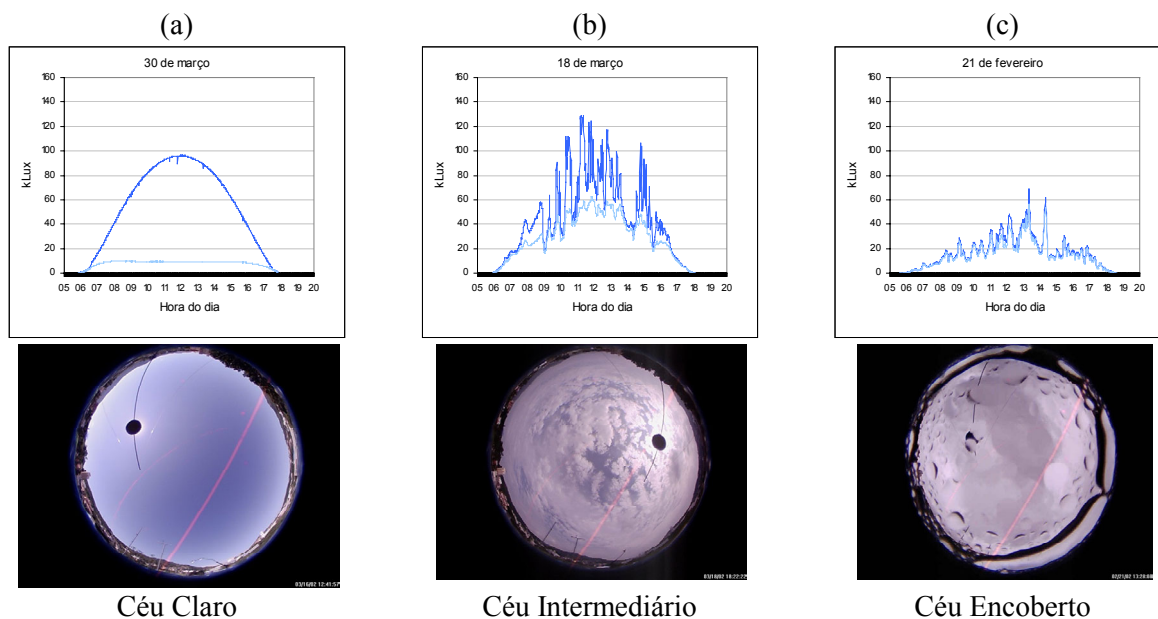


Figura 1 – Exemplo de dados de iluminância difusa e global medidos, para os tipos de céu claro, intermediário e encoberto. Abaixo dos gráficos se mostra as fotos tiradas nos dias correspondentes. No dia de céu encoberto houve ocorrência de chuva, como se pode verificar pela foto mostrada. As fotos são auxiliares na identificação da adequação dos índices usados para a classificação de tipos de céu.

A seguir descrevem-se os sensores e sua colocação.

Fotocélulas – para as medições de iluminância e luminância foram utilizadas 07 (sete) fotocélulas LI-210SZ (fig. 1) resposta de cosseno-corrigido (tipicamente menor que $\pm 5\%$ para ângulos menores que 80° a partir do eixo normal ao sensor) e correção espectral para um observador padrão CIE (ver figura 3). São fotocélulas de silício com faixa de medição até 100.000 lux e desenhadas para resistir ao tempo. Estes sensores devem ser re-calibrados a cada 2 anos. Os sensores da LICOR, adquiridos em março de 2001, tiveram sua calibração verificada pelo 1800-2 da LI-COR (fig. 2). Em seguida, na tabela 1, mostra-se as principais características deste sensor.



Figura 1. Sensores LI-210SA



Figura 2. Calibração dos fotosensores.

Tabela 1. Dados do sensor LI-210SZ

Calibração: calibrado com calibrador 1800-2 da LI-COR em dezembro de 2001.	Correção de co-seno: corrigido até um ângulo de incidência de 80°
Sensitividade: tipicamente 20 µA por 100 klux	Azimute: < ± 15 de erro em 360° e a uma elevação de 45°
Linearidade: desvio máximo de 1% até 100 klux	Inclinação: não há erro induzido pela orientação
Estabilidade: mudança < ± 2% em um ano	Detector: detector de silício de alta estabilidade
Tempo de resposta: 10 µs	Abrigo do sensor: invólucro a prova d'água de alumínio anodizado com um difusor acrílico e hardware de aço inoxidável
Dependência de temp.: ± 0,15% por °C - máximo	
Peso: 28 g	
Tamanho: 2,38 cm diâmetro x 2,54 cm altura	

Piranômetros - para as medições de radiação em plano vertical, foram utilizados quatro piranômetros LI-200SZ. É feito de fotodiodo de silício e embora a resposta deste sensor não seja ideal (resposta espectral igual para comprimentos de onda de 280 a 2800nm – ver figura 4), não causa erros sérios na medição de valores de radiação se os sensores forem utilizados para medir radiação solar (LI-COR 1991).

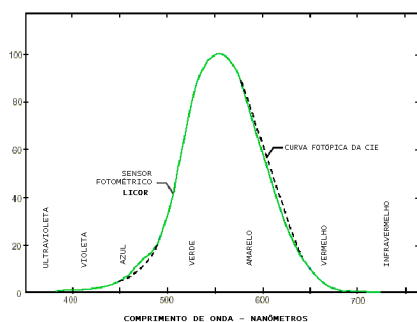


Figura 3. Resposta espectral do sensor LI-210SZ, em relação à visão do observador padrão da CIE (em λ). (LI-COR, 1991).

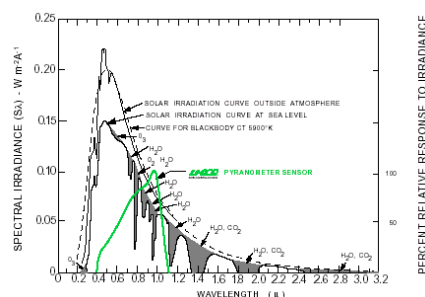


Figura 4. Resposta espectral do piranômetro LI 210SZ sobre distribuição de energia do espectro solar. (LI-COR, 1991).

Tabela 2. Dados do sensor LI-200SZ

Calibração: calibrado contra um piranômetro EPLEY em dezembro de 2001.	Correção de co-seno: corrigido até um ângulo de incidência de 80°
Sensitividade: tipicamente 80 µA por 1000 W/m ²	Azimute: < ± 15 de erro em 360° à elevação de 45°
Linearidade: desvio máximo de 1% até 3.000 W/m ²	Inclinação: não há erro induzido pela orientação
Estabilidade: mudança < ± 2% ao longo de um ano	Detector: detector de silício de alta estabilidade
Tempo de resposta: 10 µs	Abrigo do sensor: invólucro a prova d'água de alumínio anodizado com um difusor acrílico e hardware de aço inoxidável
Dependência de temp.: ± 0,15% por °C - máximo	Comprimento do cabo: 3,0 m
Peso: 28 g	
Tamanho: 2,38 cm diâmetro x 2,54 cm altura	

Datalogger Campbell CR10X – aquisitor de dados utilizado armazenar dados. O aquisitor faz a leitura a cada 5 segundos e os dados armazenados representam a média de cada minuto.

3.3 Bases de suporte para os sensores

Para fixação dos sensores e proteção contra incidência indesejável de radiação ou iluminação, foram construídos diversos tipos de suportes, descritos a seguir:

Anel de sombreamento –anel com inclinação igual à latitude do local (28° graus) e que faz sombra no sensor horizontal para evitar a incidência da luz solar direta sobre este (ver figura 5).



Figura 5. Anel de sombreamento para medição de radiação difusa.

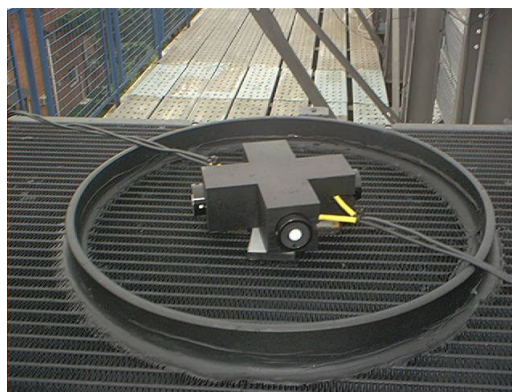


Figura 6. Cruzeta com base rotacionável. O Norte foi localizado pela direção da sombra no meio dia solar.

Fotocélulas e piranômetros para leitura vertical – os sensores para medição de iluminância e irradiância vertical nas direções norte, sul, leste e oeste devem ser protegidos da refletância da luz do solo por uma tela preto fosco que forme um horizonte artificial no nível do centro da cabeça de medição do sensor. A distância perpendicular entre o sensor e a tela deve ser de no mínimo 10 vezes o diâmetro da cabeça de medição do sensor. A luz refletida para cima dentro do horizonte artificial dever ser minimizada usando-se persianas ou colméias preto-foscas ou algo similar (CIE, 1994).

Tubo colimador para medição de luminâncias de céu – a iluminância de céu deve ser tomada a partir da leitura da porção superior do céu em um ângulo sólido de 11° . Para tal foi construído um tubo de 66 cm de altura dentro do qual foram colocados diversos anéis concêntricos de forma a reproduzir o ângulo de leitura de 11° e evitar reflexões indevidas da luz incidente no interior do tubo.



Figura 16. Tubo colimador para medição de luminância de céu.

Ligação dos sensores – para a conexão dos sensores ao *datalogger*, foram utilizados cabos blindados. Foram ligadas resistências para transformar o sinal das fotocélulas de corrente para voltagem.

Verificação do norte verdadeiro - o Norte Verdadeiro foi tomado através da verificação da direção da sombra de uma haste ao meio dia solar, em hora solar verdadeira.

Limpeza - os sensores devem ser limpos semanalmente.

4 - CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

Foram utilizados dois processos distintos para calibrar os sensores de radiação e os sensores de iluminação, descritos a seguir. Os primeiros foram calibrados com um calibrador e os demais foram calibrados por comparação.

4.1 - Fotocélulas LI210SZ

As fotocélulas foram calibradas, em dezembro de 2001, utilizando-se o calibrador de radiação ótica 1800-02 da LI-COR, que é um sistema de calibração portátil usado para calibrar instrumentos de medida de radiação na faixa de 300 -1100 nm de comprimento de onda.

Tabela 2. Constantes de calibração das fotocélulas e dos piranômetros

Fotocélula	Constante de calibração (mV)	Piranômetro	Constante de calibração (mV)
NORTE	-34,137	NORTE	113,5
SUL	-32,977	SUL	128,5
LESTE	-31,676	LESTE	126,1
OESTE	-32,118	OESTE	113,1
GLOBAL	-32,438		
DIFUSA	-34,836		
LUMINÂNCIA	-32,118		

4.2 - Piranômetros

Os piranômetros LI200SZ foram calibrados contra um piranômetro Kipp&Zonen CM11. A calibração foi feita entre os dias 6 e 7 de dezembro, sob condição de céu claro. Os piranômetros foram colocados lado a lado e os valores fornecidos por estes foram comparados aos valores fornecidos pelo piranômetro padrão. As constantes então encontradas foram então testadas até que todos os sensores apresentassem uma diferença menor que 1% entre si.

5- OBSTRUÇÃO DE ENTORNO

Para verificar a presença de obstruções deve-se determinar com a máxima precisão possível a visão que se tem a partir do ponto de referência. Para tal se fez um estudo fotográfico pela sobreposição de com a utilização de uma lente olho de peixe com 183 de abertura. Os ângulos de obstrução podem ser lidos através de um diagrama de projeções eqüidistantes, como pode ser visto na figura 20.

Nota-se que as obstruções de entorno são em média de 4°, relação admissível pela norma 108, CIE (1994).

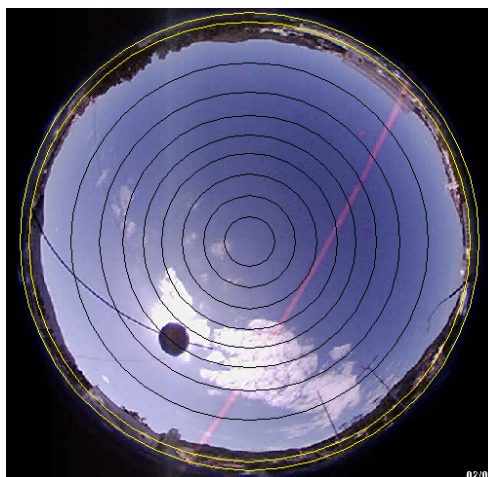


Figura 20 - Projeção do entorno da estação com lente olho de peixe.

7 - CONCLUSÃO

A iluminação natural tem sido o “primo pobre” do projeto de iluminação de interiores, grandemente ignorada devido às dificuldades associadas à sua implementação. O interesse atual em conservação de energia geralmente vê a luz natural como uma fonte “gratuita” a ser explorada. As técnicas de modelagem da luz natural disponíveis, embora apresentem uma aparência superficial de precisão, são na realidade ferramentas de esboço de projeto, e a avaliação do nível de iluminação encontrado será

altamente dependente das premissas assumidas em relação à iluminação externa. Há o perigo de que estes problemas sejam ignorados no projeto de interiores e uma precisão indevida seja assumida e aplicada. A natureza da luz natural, como uma fonte variável, deve ser entendida e as ferramentas de *design* devem levar em conta sua característica estatística inerente (HAYMAN, 1994).

Os programas mais sofisticados, estudos de ofuscamento, e métodos de iluminação energeticamente eficiente ou de suplemento de iluminação natural, precisam de um conjunto padrões de iluminâncias e distribuição de luminâncias de céu que possa caracterizar as mudanças típicas das condições externas. (...) De acordo com a variação local e o padrão de frequência de ocorrência de tipos de céu, uma combinação adequada de padrões de céu pode simular as mudanças diárias, sazonais ou anuais que são necessárias para o cálculo da predeterminação de uma iluminação eficiente energética, situações de ofuscamento e de gerenciamento de dispositivos de controle (KITTLER et al., 1997).

Dados de curto e longo prazo de disponibilidade de luz natural e padrões de distribuição de luminâncias são necessários tanto para tarefas de engenharia de iluminação quanto para projetistas de arquitetura. Dados momentâneos ou de curto prazo, indicam estados extremos e são necessários para avaliar o conforto visual em certas situações de forma a melhorar o desempenho dos meios de controle de forma a evitar ambientes sombrios e ofuscamento. Dados médios de longo prazo são necessários para prever o balanço de energia e os efeitos no consumo de energia em alternativas de projeto. (...) Os desvios locais, temporais e de média, assim como a complexidade de escolher o melhor conjunto de tipos de céus, definidos pelas condições predominantes de nebulosidade ou turvamento, juntamente com as irradiâncias e iluminâncias direta, difusa e global resultantes tem que ser definidos para que se chegue a uma resposta satisfatória das necessidades de projeto (KITTLER, 1994).

Espera-se que a disponibilidade de dados de medição de iluminação natural externa medidos sistematicamente possa auxiliar o desenvolvimento de ferramentas otimizadas para analisar a situação dinâmica dos níveis de iluminação em países tropicais.

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 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, Laboratório de Conforto Ambiental, LABCON-UFSC.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LI-COR, LI-COR **Radiation Sensors - Instruction Manual**, LI-COR inc. Publication No. 8609-56, Lincoln, USA, 1991.
- CIE STANDARD, **Guide to recommended practice of daylight measurement**. Technical report. Commission Internationale de L'Eclairage. Publication CIE 108-1994, Vienna, Austria, 1994.
- HAYMAN, S. N. **Daylight – the inexact science**. In Proceedings of the Electrical Engineering Congress, National Conference Publication – Institution of Engineers. Sydney, Australia. Aug. 1994. Pp 743 – 746.
- KITTLER, R., **The need for standard skies and models for energy conservation measures**, Lighting Research and Technology vol. 26 (4), Elsevier Science Ltd., Great Britain, 1994. pp 171-180.
- KITTLER, R.; PEREZ, R.; DARULA, S. **Sky classification respecting energy-efficient lighting, glare and control needs**, Journal of the Illuminating Engineering Society, winter 1997, pp 57 - 68.