

## ESTUDO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA

**Suzana Damico Fonseca (1); Flávia Osaku Minella (2); Eduardo L. Krüger (3)**

(1) Engenheira Eletricista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – PPGTE-UTFPR, Av. Sete de Setembro, 3165 CEP. 80230-901 Curitiba PR, suzanadamico@yahoo.com.br

(2) Arquiteta, Mestranda do PPGTE-UTFPR, arquit\_flavia@yahoo.com

(3) Professor Doutor, PPGTE-UTFPR, ekruger@utfpr.edu.br

### RESUMO

O Ministério de Minas e Energia estima que o Brasil tenha um imenso potencial de eficiência energética a ser explorado. No que diz respeito ao uso de sistemas de iluminação, muito pode ser feito com vistas ao aproveitamento da luz natural, amplamente disponível em condições tropicais e subtropicais. A Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos representa uma das ações da Eletrobrás através do programa Procel EDIFICA visando à redução do consumo de energia elétrica. Este estudo enquadra-se em uma pesquisa mais ampla que busca a avaliação de uma edificação já existente segundo os critérios desta regulamentação. Desta forma, foram selecionadas seis amostras de salas de aula, com orientações cardeais distintas, da UTFPR, Campus Curitiba. Este artigo busca contribuir com uma metodologia para a obtenção do Fator de Luz Natural (FLN), considerado como a razão das iluminâncias interna e externa num ponto de um dado plano devido à luz natural, de modo que se possa estimar o potencial de uso de luz natural em situações não consideradas em monitoramentos de iluminação de ambientes internos. Para isso, o nível de iluminamento foi determinado a partir da medição direta da iluminação natural disponível nas salas de aula tomadas como amostra. Para encontrar a iluminância externa teórica para cada dia e horário das medições de iluminação natural, de acordo com o tipo de céu observado; utilizou-se o software DLN. Comparou-se este dado com uma estimativa da iluminância externa, obtida a partir de conversão matemática da radiação solar global em plano horizontal. Determinou-se, assim, o FLN médio para cada sala de aula, e finalmente, estimou-se a iluminância média interna para as demais estações do ano em distintas condições de céu.

Palavras-chave: iluminância, FLN.

### ABSTRACT

The *Ministério de Minas e Energia* estimates a huge potential for energy efficiency with regard to daylighting in Brazil, widely available in tropical and subtropical conditions. The *Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais* is one of the programs of Eletrobrás/Procel EDIFICA, aimed at reducing electric energy consumption. This study is part of a broader research, aiming at the assessment of an existing building according to this regulation. Thus, six classrooms with different solar orientations at UTFPR, Campus Curitiba, were selected. This article seeks to contribute with a methodology for obtaining the daylight factor (DF), in order to estimate the potential use of daylight in situations not considered during daylighting measurements of the classrooms. For such, daylighting levels were determined from direct measurements in the classrooms. The software DLN was used to find the theoretical external illuminance for each day and for the respective times of measurements, according to the type of sky observed. This figure was compared with an estimate of the external illuminance, obtained from the mathematical conversion of solar radiation on horizontal plane. The average DF was determined for each classroom, and finally, the average internal illuminance was estimated for other seasons of the year under different sky conditions.

Keywords: illuminance, DF.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores que pode auxiliar, de maneira simplificada, a avaliação da disponibilidade de iluminação natural em um determinado ambiente é o Fator de Luz Natural (FLN), considerado como a razão das iluminâncias interna e externa num ponto de um dado plano devido à luz natural. O FLN é um fator fixo, expresso em valores percentuais, que demonstra a variabilidade da quantidade de luz natural interior de acordo com as alterações da luminosidade do céu (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; VIANNA; GONÇALVES, 2007).

A equação para o cálculo do FLN é bastante simples:

$$FLN = \frac{E_p}{E_e} \times 100\% \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$E_p$  é a iluminância no ponto interior em lux;

$E_e$  é a iluminância do exterior em lux.

Cabe aqui ressaltar que, para avaliação do FLN, deve-se considerar a luz difusa ou luz do céu. Portanto, não se considera a contribuição da luz solar direta (ABNT, 1991). Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) destacam que “a luz recebida do Sol é a fonte de luz fundamental, mas é a luz do Sol difundida na atmosfera que, como luz de céu, serve de fonte primária na iluminação natural de interiores.”

A obtenção de um FLN médio para um ambiente permite conhecer o potencial de aproveitamento de luz natural em seu interior para variadas épocas do ano e diferentes condições do céu.

Este estudo enquadra-se em uma pesquisa mais ampla que busca contribuir com um método para a avaliação, classificação e adequação de uma edificação já existente segundo os critérios da Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, quanto ao uso de sistemas de iluminação (artificial e natural). A Regulamentação representa uma das ações da Eletrobrás através do programa Procel EDIFICA visando à redução do consumo de energia elétrica. Sua proposta é especificar os requisitos técnicos e os métodos para a classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. Ela será aplicada, inicialmente, em caráter voluntário tanto para as edificações existentes como para as novas. Terá caráter obrigatório, no prazo máximo de 5 anos a partir de sua entrada em vigor, para as novas edificações (LAMBERTS *et al.*, 2007).

A pesquisa foi realizada em um dos blocos compostos majoritariamente de salas de aula, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba. Foram selecionadas seis amostras de salas de aula do “bloco E”, das Engenharias: salas E101, E104, E107, E301, E304 e E307, com orientações cardiais distintas. Nestas salas, foram realizadas medições da iluminação natural disponível nos períodos de verão (18, 20 e 21 de dezembro de 2008) e inverno (28, 29 de junho e 9 de julho de 2008).

## 2. OBJETIVO

Este artigo busca contribuir com uma metodologia para a obtenção do Fator de Luz Natural (FLN) que consiste na razão entre a iluminância interior num dado ponto de um ambiente e a quantidade de iluminação natural disponível no exterior desobstruído da edificação. Pretende-se estimar o potencial de uso de luz natural em situações não consideradas em monitoramentos de iluminação de ambientes internos.

## 3. MÉTODO

Qualquer ambiente com aberturas laterais ou zenitais voltadas para a abóbada celeste sofre influência direta da iluminância externa à edificação em seu nível de iluminamento natural interno. Nesta pesquisa, este nível de iluminamento foi determinado a partir da medição direta da iluminação natural disponível nas salas de aula tomadas como amostra.

Para encontrar a iluminância externa teórica para cada dia e horário das medições de iluminação natural, de acordo com o tipo de céu observado; utilizou-se o software DLN. Comparou-se este dado com uma estimativa da iluminância externa, obtida a partir de conversão matemática da radiação solar global em plano horizontal.

Com os dados de iluminância interna e externa, determinou-se o FLN médio para cada sala de aula, e finalmente, estimou-se a iluminância média interna para as demais estações do ano em distintas condições de céu.

### 3.1 Tipo de céu adotado

O FLN pode ser chamado também de Fator de Luz Diurna (FLD) ou Coeficiente de Luz Diurna (CLD). É preciso distinguir os conceitos do FLN e do *Daylight Factor* (DF). Segundo Vianna e Gonçalves (2007), basicamente a diferença está nos tipos de céu adotados para cada um dos fatores. Para os cálculos do DF, adota-se o céu padrão CIE (*Commission Internationale de L'Éclairage*), que pode ser claro ou encoberto, desde que uniforme (CIE, 2008). Já nos cálculos do FLN, caso deste estudo, pode ser utilizado o céu parcialmente encoberto, além dos outros dois acima citados (VIANNA; GONÇALVES, 2007).

Assim, no início de cada medição, observou-se qualitativamente o tipo de céu predominante. Um dos métodos para a classificação do céu, recomendado pela *Illuminating Engineering Society of North America*, IESNA (2000), é a avaliação de céu encoberto por nuvens numa escala em décimos de 0 a 1, ou de uma maneira mais prática, de 0 a 100%:

Tabela 1 – Porcentagem de nuvens para os diferentes tipos de céu

Tipo de céu	Escala IESNA	Porcentagem aproximada de nuvens
Céu claro	0.0 a 0.3	até 30% de nuvens
Céu parcialmente encoberto	0.4 a 0.7	entre 30% e 80% de nuvens
Céu encoberto	0.8 a 1.0	acima de 80% de nuvens

Fonte: IESNA, 2000.



Figura 1- Tipos de céu: encoberto, parcialmente encoberto e claro (MOURA, 2007)

### 3.2 Obtenção da iluminância interna

Segundo a norma NBR 15215-4 – Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição, a avaliação da iluminância de um ambiente deve ser realizada em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro) e em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho). Os dados devem ser coletados a partir do início do expediente, em intervalos de 2 em 2 horas e levando-se em consideração o horário legal.

Devido à variação da quantidade de nuvens no céu durante o dia, que dão origem aos três tipos de céu conhecidos: céu claro, parcialmente encoberto e encoberto, tem-se como consequência a variação da luz natural incidente no plano de trabalho. Com o intuito de obter uma média característica da disponibilidade de luz natural – por intermédio do FLN - para cada sala de aula, realizaram-se medições em três dias distintos (dois dias a mais que a recomendação da norma) e próximos ao início de cada um dos solstícios (verão e inverno).

Definidos os dias e horários, foi determinada a quantidade de pontos em cada ambiente tomado como amostra, conforme designado pela NBR 15215-4. A figura 2 apresenta o exemplo das distribuições dos pontos para medição em duas salas de aula.

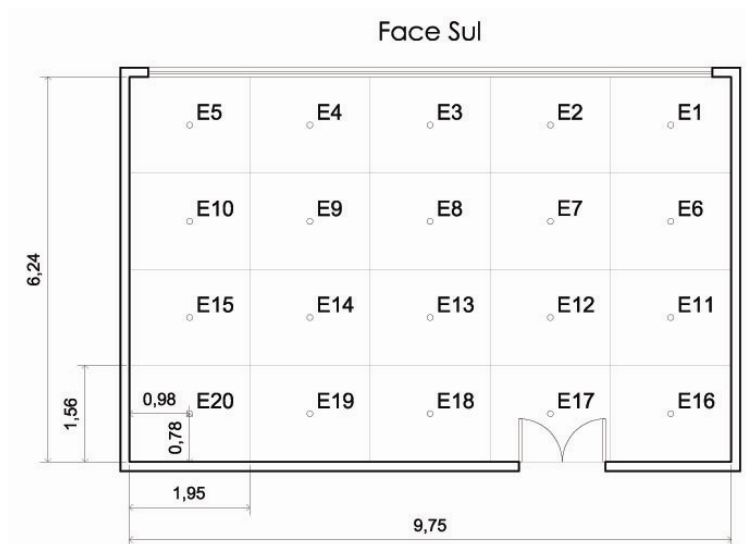


Figura 2 – Pontos para a medição da iluminação natural das salas E104 e E304

O levantamento da iluminância das salas de aula foi realizado com o auxílio de fotômetros denominados luxímetros. No caso, foram utilizados dois luxímetros digitais: LD-240 e LDR-380 (RS232/Datalogger), ambos do fabricante Instrutherm (Figura 3).



Figura 3 – Luxímetros LD-240 (a) e LDR-380 (RS232/Datalogger) (b)

Tomaram-se as medidas manualmente, de 2 em 2 horas, durante o expediente normal, em cinco diferentes horários (9, 11, 13, 15 e 17 horas) e em três dias consecutivos. Toda a iluminação artificial foi desligada e as cortinas dos ambientes foram totalmente abertas. Antes do início de cada medição, em cada sala de aula, foi observado o tipo de céu ocorrido – indicados nas tabelas 1(a), 1(b) e curvas da figura 5. Foi considerada a quantidade de luz no ponto e no plano onde a tarefa é usualmente executada, seja horizontal, vertical ou em qualquer outro ângulo. A norma recomenda que as medições sejam realizadas num plano horizontal a 75 cm do piso quando a altura da superfície de trabalho não for especificada ou conhecida. Durante a coleta de dados, percebeu-se a oscilação das medidas indicadas pelos luxímetros devido à variabilidade da iluminação natural. Em cada ponto da medição, aguardou-se 10 segundos até a estabilização do equipamento, ou quando passado este período, escolheu-se a medida ocorrida com maior frequência.

Os dados foram dispostos em planilha eletrônica para que posteriormente fosse possível desenvolver os cálculos do FLN médio de cada sala de aula.

### 3.3 Obtenção da iluminância externa teórica e da iluminância externa real

O software DLN – Disponibilidade de Luz Natural – foi apresentado por Scarazzato<sup>1</sup> em 1995. Segundo o autor, o software “dá informações sobre a previsão da disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos às edificações” e foi baseado no documento RP 21-84, intitulado *Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability*, publicado pela IESNA em 1984. Este

<sup>1</sup> SCARAZZATO, Paulo Sergio. O conceito de Dia Típico de Projeto Aplicado à Iluminação Natural. Dados referenciais para localidades brasileiras. São Paulo, 1995. 2v. Tese (doutoramento) apresentada à FAUUSP

documento apresenta algoritmos universalmente aplicáveis, que foram baseados na interação entre medições realizadas e métodos preditivos desenvolvidos ao longo de seis décadas em vários países. Inclui ainda, as três tipologias de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto (SCARAZZATO, 2004). Enfim, por intermédio do software DLN, a predição da iluminância externa difusa é equivalente à medição da iluminância externa real com o anel de sombreamento, de forma a bloquear a incidência de radiação direta.

De acordo com Scarazzato (2004), os dados preditivos são uma alternativa válida devido à escassez de dados medidos e sistematizados no Brasil. Mas não dispensam a necessidade de dados reais, como aqueles coletados em Estações Medidoras de Iluminação Natural (EMIN). No Brasil, no entanto, existem apenas duas estações em funcionamento: uma Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis e outra na Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte.

Diante deste fato, a solução encontrada para avaliar a correspondência entre os valores preditivos e a iluminância externa equivalente à situação real, foi comparar os valores das iluminâncias diárias extraídas do DLN e os dados de radiação solar - disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (INMET, 2008) – para a cidade de Curitiba nos dias de medições.

Devido às diferentes proporções do calor e luz solares resultantes das variações da altitude solar e das condições atmosféricas, os dados de radiação solar não podem ser utilizados diretamente em simulações de iluminação natural (ASHRAE, 1993).

Desta forma, os dados reais de radiação solar, obtidos pelo INMET, foram convertidos em iluminâncias por meio dos cálculos sugeridos por Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) e Alucci (2002).

Para a obtenção da iluminância externa, em lux, Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) propõem que se multiplique a radiação solar em  $W/m^2$  pelo rendimento luminoso da luz natural, dado em  $lm/W$ . Os autores aconselham empregar o valor de 100  $lm/W$  para este rendimento. Alertam, porém, que tal equação pode apresentar valores mais baixos para a iluminação solar – por volta de 20% - quando estiver sendo avaliado o céu limpo ou claro.

Alucci (2002) sugere uma equação empírica indicada pelo IPT<sup>2</sup> de São Paulo para caracterizar a correlação entre radiação solar global ( $W/m^2$ ) e iluminância (lux), ou seja, a eficiência luminosa da radiação solar, ou rendimento luminoso:

$$Y = 0,0108X - 48,829 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Y é a radiação solar em  $W/m^2$ ;

X é a iluminância global em lux.

Após a obtenção desses dados, foi feita uma comparação gráfica entre os dados de iluminância global (luz do céu + luz do Sol) gerados pelo DLN para os dias e horários das medições e os dados de radiação solar do INMET, convertidos para iluminância, segundo os métodos descritos (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975; ALUCCI, 2002). Há que se observar que a radiação solar engloba suas componentes direta e difusa num plano horizontal externo qualquer. Por isso, para que fosse possível a comparação dos dados reais e simulados de iluminância, considerou-se a iluminância global quando da extração dos dados do DLN.

Dando seqüência ao desenvolvimento da pesquisa, o FLN médio foi tomado como a média aritmética de todos os FLN's de cada ponto do ambiente avaliado (PHILLIPS, 2004; SZABO, 2002). Segundo Bertolotti (2007), estes valores representam melhor a distribuição da iluminação natural num ambiente interno do que a iluminância média. Pois a variabilidade da luz, seja direta ou difusa, é sua característica mais notável (HERTZ, 1998). A própria ABNT (2004b) destaca que “conhecendo-se a variação da iluminação natural com o afastamento da janela, percebe-se que um nível médio de iluminação pode não representar adequadamente a iluminância do espaço interno.” Assim, o procedimento seguiu com a busca de uma média para o FLN de cada sala de aula.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Análise da iluminação externa horizontal difusa e obtenção do FLN

Como exposto anteriormente, as iluminâncias difusas externas foram obtidas por meio do software DLN, para todos os dias de medições, considerando-se o tipo de céu (céu claro, parcialmente encoberto e

---

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Relatório técnico nº 13257.

encoberto) que predominava no momento das medições. Os valores preditos de iluminância externa do software DLN, para o tipo de céu ocorrido a cada horário das medições, e a iluminância real, oriunda da conversão dos dados de radiação solar disponibilizados pelo INMET, foram comparados e podem ser analisados na tabelas 1(a) e 1(b), como também nas curvas da figura 1. Observa-se, então, a correspondência que se esperava encontrar entre o resultado derivado destes cálculos, assim como a correlação destes com os valores preditos pelo software DLN.

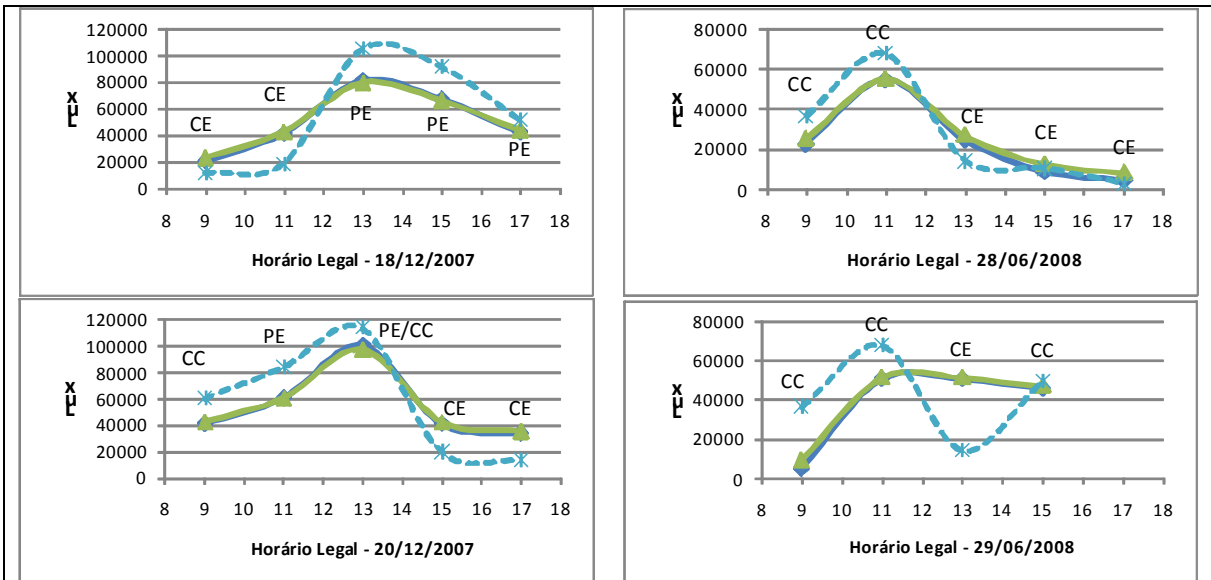
Tabela 1 – Comparação da radiação solar convertida em iluminância externa (Hopkinson / Alucci) com os dados de iluminância global extraídos do DLN, conforme o tipo de céu ocorrido para cada horário das medições

Verão	Data	Radiação		100 lm/W (Hopkinson)	Equação Sugerida (Alucci)	DLN (Sol + Céu)			Tipo de Céu Durante a Medição	Iluminância Externa DLN (Equivalente ao tipo de céu durante a medição)	Correlação Média entre a Conversão da Radiação Medida pelo INMET e a simulação do DLN	
		Horário	kJ/m <sup>2</sup> (Dados do INMET)			Equivalente em W/m <sup>2</sup>	CC (Céu Claro)	PE (Parcialmente Encoberto)				CE (Céu Encoberto)
		Curitiba (Horário de Verão)										
18/12/2007	9	729	203	20250	23271	60500	40900	11700	CE	11700		
18/12/2007	11	1482	412	41167	42638	104300	84100	18400	CE	18400		
18/12/2007	13	2912	809	80889	79418	122800	104200	21300	PE	104200		
18/12/2007	15	2400	667	66667	66250	110800	91100	19400	PE	91100		
18/12/2007	17	1520	422	42222	43616	71500	51000	13400	PE	51000		
20/12/2007	9	1478	411	41056	42536	60100	40500	11600	CC	60100		
20/12/2007	11	2168	602	60222	60283	104100	83900	18400	PE	83900		
20/12/2007	13	3604	1001	100111	97217	122800	104200	21300	PE/CC	113500		
20/12/2007	15	1470	408	40833	42330	111000	91300	19500	CE	19500		
20/12/2007	17	1205	335	33472	35514	72000	51400	13400	CE	13400		
21/12/2007	9	647	180	17972	21162	59900	40400	11600	CE/PE	26000		
21/12/2007	11	2813	781	78139	76872	104000	83800	18400	PE	83800		
21/12/2007	13	2136	593	59333	59459	122800	104200	21300	CE	21300		
21/12/2007	15	1246	346	34611	36569	111100	91400	19500	PE	91400		
21/12/2007	17	1389	388	38583	40247	72200	51600	13500	CE	13500		

(a)

Inverno	Data	Radiação		100 lm/W (Hopkinson)	Equação Sugerida (Alucci)	DLN (Sol + Céu)			Tipo de Céu Durante a Medição	Iluminância Externa DLN (Equivalente ao tipo de céu durante a medição)	Correlação Média entre a Conversão da Radiação Medida pelo INMET e a simulação do DLN	
		Horário	kJ/m <sup>2</sup> (Dados do INMET)			Equivalente em W/m <sup>2</sup>	CC (Céu Claro)	PE (Parcialmente Encoberto)				CE (Céu Encoberto)
		Curitiba (Horário Normal)										
28/06/2008	9	802	223	22272	25144	36400	22400	8100	CC	36400		
28/06/2008	11	1965	546	54583	55061	67500	49200	13300	CC	67500		
28/06/2008	13	868	241	24122	26857	72200	53900	14100	CE	14100		
28/06/2008	15	303	84	8406	12304	49100	32500	10300	CE	10300		
28/06/2008	17	144	40	4006	8230	8800	5800	2800	CE	2800		
29/06/2008	9	183	51	5094	9238	36300	22400	8100	CC	36300		
29/06/2008	11	1820	506	50556	51332	67500	49300	13300	CC	67500		
29/06/2008	13	1815	504	50417	51203	72300	54000	14100	CE	14100		
29/06/2008	15	1644	457	45667	46805	49200	32600	10300	CC	49200		
09/07/2008	9	384	107	10678	14408	36800	22700	8200	CC	36800		
09/07/2008	11	1848	513	51333	52052	68500	50200	13500	CC	68500		
09/07/2008	13	2296	638	63778	63575	73800	55400	14400	CC	73800		
09/07/2008	15	1774	493	49278	50149	50900	34100	10600	CC	50900		
09/07/2008	17	292	81	8117	12037	10000	6400	3100	CC/PE	6550		

(b)



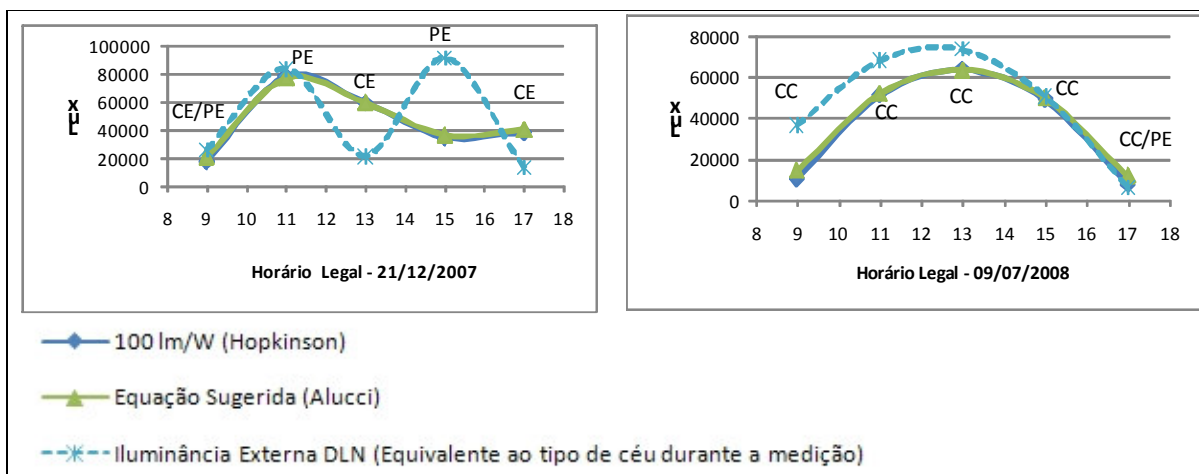


Figura 4 – Comparação entre radiação solar convertida em iluminância e iluminâncias globais extraídas do software DLN para os três tipos de céu: céu claro (CC), parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE)

Percebe-se nas curvas da figura 1 o fator de correlação 1 ou 100% entre a equação sugerida por Alucci (2002) e o cálculo de Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975). Entre estes valores, provenientes da conversão da radiação solar em iluminância, e os dados extraídos do DLN, observou-se a forte correlação de aproximadamente 80%.

Em três momentos nas medições<sup>3</sup> ocorreram diferentes tipos de céu para distintas orientações cardeais das salas de aula. Por este motivo, tomou-se a média dos dados do DLN para a simulação da iluminância externa teórica.

O passo seguinte tomado neste procedimento foi buscar uma média para o FLN de cada sala de aula. A quantidade de pontos em que foi medida a iluminância variou de 20 a 36 para os três modelos de sala de aula. Para cada um destes pontos foi calculado o FLN, com base na iluminância externa teórica (DLN). E finalmente, calculou-se um FLN médio para cada sala.

Na tabela 2, estão identificados os FLN médios das salas considerando-se os três dias de medições, tanto de verão como de inverno, bem como a média entre verão e inverno deste fator.

Tabela 1 – Médias do FLN de cada sala de aula para as medições de verão e inverno, e média geral do FLN para cada sala de aula

	VERÃO			INVERNO			MÉDIA		
	E101	E104	E107	E101	E104	E107	E101	E104	E107
FLN Med	5,6%	5,6%	1,9%	5,9%	3,4%	3,8%	5,8%	4,5%	2,8%
	E301	E304	E307	E301	E304	E307	E301	E304	E307
FLN Med	4,7%	5,8%	1,4%	5,1%	4,8%	2,2%	4,9%	5,3%	1,8%

Tabela 2 – Iluminâncias externas para os dias típicos de cada estação do ano de 2008 levantadas por meio do software DLN

Horário	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	12,5	26	12,3	10,3	17,2	8,2	13	28,1	13,3	12,1	24,4	11,5
11:00	15,1	38,5	18,1	13	28,2	13,3	15,3	39,5	18,6	15,2	39	18,3
13:00	15,5	40,7	19,2	13,3	29,8	14,1	15,4	40,4	19	16,3	45,2	21,3
15:00	13,8	32,1	15,2	11,4	21,5	10,2	13,5	30,6	14,4	15,6	41,4	19,5
17:00	9,7	15	7,2	6,1	5,5	2,7	8,9	12,7	6,1	13,1	28,6	13,5

Com o intuito de avaliar as condições de iluminância interna dos ambientes, durante condições climáticas distintas, uma nova etapa consistiu em levantar os dados de iluminância externa do DLN para

<sup>3</sup> 20/12/2007 às 13h - PE/CC; 21/12/2007 às 9h - CE/PE e 9/07/2008 às 17h - CC/PE.

quatro dias típicos das estações do ano (tabela 3) e por intermédio do FLN médio de cada sala, simular o nível de iluminação interno (exemplificado na tabela 4, para uma sala de aula). Para tanto, foi utilizada a equação 1 apresentada anteriormente.

Tabela 4 – Exemplo de simulação das condições do nível de iluminação de uma sala de aula (E101), a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano de 2008

Sala E101 - FLN médio 5,8%												
Horário	Outono (22/mar)			Inverno (22/jun)			Primavera (23/set)			Verão (22/dez)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	725	1507	713	597	997	475	754	1629	771	701	1414	667
11:00	875	2232	1049	754	1635	771	887	2290	1078	881	2261	1061
13:00	898	2359	1113	771	1727	817	893	2342	1101	945	2620	1235
15:00	800	1861	881	661	1246	591	783	1774	835	904	2400	1130
17:00	562	869	417	354	319	157	516	736	354	759	1658	783

Uma planilha de cálculos, como a apresentada na tabela 4, foi desenvolvida para cada uma das salas estudadas. O propósito deste passo da pesquisa foi avaliar o comportamento das iluminâncias médias das salas de aula ao longo do ano para as três situações de céu. As curvas apresentadas na figura 2 mostram este comportamento. Para a determinação do nível de iluminação adequado para cada ambiente, a Regulamentação - comentada na introdução deste artigo – recomenda a utilização da norma NBR 5413 – Iluminância de Interiores. A norma propõe para salas de aula, a iluminância mínima de 200 lux, média de 300 lux e máxima de 500 lux. Na figura 5, note-se a linha vermelha, indicativa do nível de iluminação mínimo.

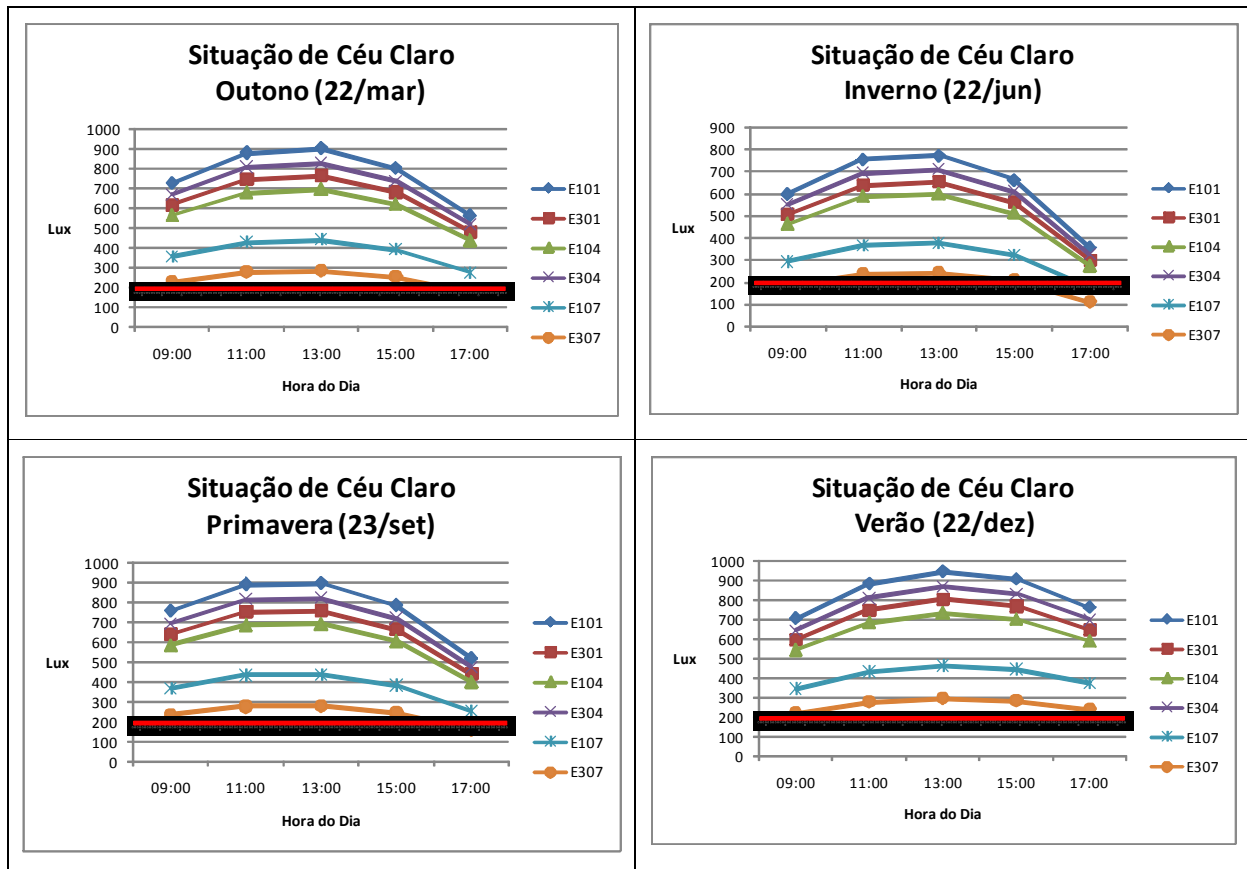


Figura 5 – Gráfico correspondente à simulação das condições do nível de iluminação das salas de aula, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano, numa situação de céu claro (CC).



As curvas apresentadas mostram com clareza as salas de aula que oferecem o melhor e o pior nível de iluminamento interno. No caso, as salas E101 e E307, respectivamente.

Para as duas salas avaliou-se o comportamento das iluminâncias ao longo do ano, sob as diferentes condições de céu. A figura 6 exemplifica esta análise, considerando uma situação de céu encoberto, ou seja, uma condição desfavorável.

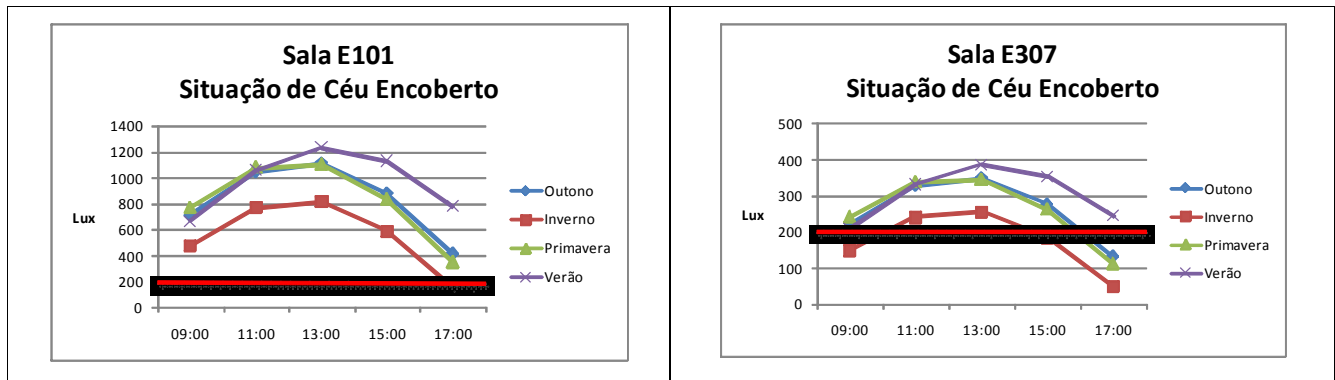


Figura 6 – Gráfico correspondente à simulação da melhor e pior condição do nível de iluminamento dentre as salas de aula, para as quatro estações do ano, numa situação de céu encoberto (CE).

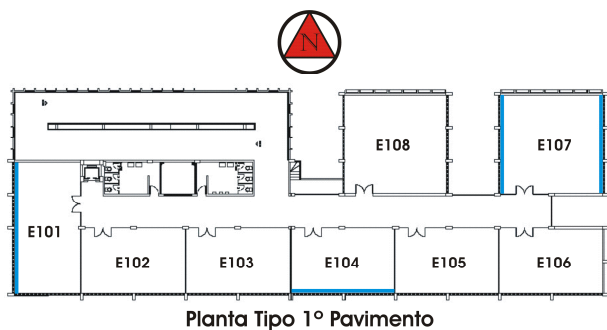


Figura 7 – Planta Tipo 1º pavimento do Bloco E.

As salas E101 e E307 se localizam no primeiro e terceiro andar do bloco E, respectivamente. A abertura da sala E101 está voltada para oeste. Já a sala E307 tem duas aberturas, sendo que uma está também voltada para oeste e outra voltada para leste. Estas aberturas podem ser observadas, em azul, na planta tipo indicada na figura 7. Três fatores explicam as melhores condições de iluminância interna da sala E101 em relação à sala E307: a obstrução externa, o fator WWR e a refletância interna.

Enquanto a sala E101 tem sua janela desobstruída, a E307 sofre obstrução em sua abertura direita pela construção do próprio bloco E, e a janela esquerda devido a construções externas à edificação.

Quanto ao fator WWR - que indica a relação da área da janela pela área da parede que a contém - a sala E101 apresenta um valor de 36%, enquanto a sala E307 apresenta um valor de apenas 22%.

Todas as salas de aula do bloco E, apresentam uma refletância comum para paredes, teto e piso, porém, o mobiliário da sala E101 é predominantemente branco contra um mobiliário em madeira escura da sala E307. Isto representa uma refletância média de aproximadamente 70% para os móveis da sala E101, enquanto os móveis da sala E307 apresentam refletância média de 30% (COSTA, 2005).

## 5. CONCLUSÕES

Ficou clara, neste estudo, a importância da avaliação da iluminância interna de um ambiente ao longo do dia e ao longo dos meses do ano. Os resultados da utilização do Fator de Luz Natural (FLN) aliado ao software DLN apresentaram coerência quando comparados aos dados de radiação solar real obtidos pelo INMET. Da mesma maneira, fatores como a obstrução das aberturas, WWR e refletância, se mostram fundamentais para a compreensão do comportamento de um ambiente em função de sua iluminância.

E por fim, observando-se o conjunto dos resultados, é possível afirmar a existência de um grande potencial de iluminação natural, que pode ser aproveitado de maneira a diminuir os gastos com o sistema de iluminação artificial dos ambientes estudados.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALUCCI, Márcia Peinado. Eficiência da iluminação natural: procedimento de cálculo/software lux 1.0. In: NUTAU' 2002 - Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano. **Anais...** São Paulo: NUTAU/USP, 2002. (CD-ROM).
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1993. 829 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5461 – Iluminação**. ABNT: Rio de Janeiro, 68p., 1991.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15215-3 – Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos**. ABNT: Rio de Janeiro, 34p., 2004a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15215-4 – Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição**. ABNT: Rio de Janeiro, 13p., 2004b.
- BERTOLOTTI, Dimas. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. São Paulo, 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo - USP, 162p.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE – CIE. Disponível em: <<http://www.cie.co.at>>. Acesso em: 2 mar. 2008.
- COSTA, José Corrêa da. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. 3.ed. rev. e amp. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2005. 561p.
- HERTZ, John B.. **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo: Pioneira, c1998. 125 p.
- HOPKINSON, Ralph Galbath; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J.. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975. 776 p.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA – IESNA. **The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application**. 9th edition. New York: IESNA, 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA -INMET. **Monitoramento das estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso em: 10 jul. 2008.
- LAMBERTS, Roberto et al. **Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/reg.etiquetagem.voluntaria.html>>. Acesso em: 4 jul. 2007.
- MOURA, Norberto. **Iluminação Natural: Método de cálculo ABNT**. Disciplina dos Profs. Anésia Barros Frota e Paulo Sergio Scarazzato (USP). Disponível em: <[http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aut0262/index.html](http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/index.html)>. Acesso em: 13 nov. 2007.
- PHILLIPS, Derek. **Daylighting: natural light in architecture**. Oxford: Elsevier, 2004.
- SCARAZZATO, Paulo Sérgio. Software DLN. In: **Revista Lume** nº 10. São Paulo: De Maio Comunicação e Editora, 2004.
- SZABO, Ladislao Pedro. Verificação do fator de luz do dia em edifícios de escritórios da cidade de São Paulo. In: NUTAU' 2002 - Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano. **Anais...** São Paulo: NUTAU/USP, 2002. (CD-ROM).
- VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Iluminação e Arquitetura**. 3ªed. São Paulo: Geros s/c Ltda., 400 p., 2007.