

AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL INTEGRADO À LUZ NATURAL

Mônica Bosa (1); Márcia Fauat (2); Eduardo L. Krüger (3).

(1) Acad. Engenharia da Produção Civil

(2) Acad. Engenharia da Produção Civil

(3) Prof. Dr., Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Depto de Construção Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - PPGTE - CEFET-PR
e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

RESUMO

O uso adequado de energia elétrica, notadamente após a crise de energia 2001, apresenta-se atualmente como uma das principais estratégias de conservação do setor elétrico, que, por um lado, alivia a demanda por maiores insumos energéticos e, por outro, favorece o uso mais eficiente desses recursos. No presente trabalho, é descrito um sistema que prevê a utilização de reatores dimerizáveis acoplados a um controle do nível de iluminamento no plano de trabalho, que permite a redução da potência dissipada pelas lâmpadas durante o dia e a conseqüente redução do consumo de energia elétrica. Por se tratar de um sistema de funcionamento automático, seu custo de implantação é alto. São apresentados os resultados de ensaios realizados com esse dispositivo aplicado a uma sala de aula, quanto ao potencial de redução de consumo de energia elétrica.

ABSTRACT

The adequate use of energy, specially after the energy crisis of 2001, is one of the main strategies of energy conservation, diminishing the demand for energy and favoring the efficient use of this resource. In this paper, a system, consisting of dimmers connected to photoelectric cells, is described. This system allows a reduction of electric power required by artificial lighting during the day, which may lead to a reduction of electricity consumption. However, the high cost of this system is mainly related to its automation. The results of experiments with the described system are presented, considering its use for lowering energy consumption in a classroom.

1. INTRODUÇÃO

O Balanço Energético Nacional distribui o consumo de energia nos seguintes setores da economia: energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transporte e industrial (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2000). O Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, embora seja uma Instituição de Ensino Superior ao nível federal, está compreendido, quanto à classificação setorial adotada pelo Ministério das Minas e Energia, no setor comercial, que engloba atividades como comércio varejista e atacadista, serviços comunitários e sociais, ensino e cooperativas. No CEFET-PR, cerca de 80% de toda energia elétrica são destinados à iluminação de ambientes (administrativos, salas de aula e laboratórios) e 20% para as demais cargas. Esta estimativa de consumo de eletricidade por uso final está em conformidade com o perfil de consumo de prédios comerciais e públicos que não

possuem equipamentos de condicionamento de ar (Tab. 1), cujo consumo médio em iluminação situa-se em torno de 70%¹.

Tab. 1: Perfil de consumo em prédios públicos e comerciais com e sem equipamentos de condicionamento de ar (PROCEL, 1988)

Uso Final	Com Condicionamento de Ar	Sem Condicionamento de Ar
Iluminação	24%	70%
Ar Condicionado	46%	-
Elevadores	15%	14%
Equip. de Escritório	15%	16%
TOTAL	100%	100%

Considerando-se este alto índice de consumo de energia elétrica em iluminação, recomenda-se a escolas, como forma de redução do consumo de energia elétrica, as seguintes medidas:

- maior aproveitamento da luz natural;
- minimização do tempo de utilização das lâmpadas;
- minimização da potência instalada, com a utilização de componentes de maior eficiência energética, reatores eletrônicos e lâmpadas de maior rendimento.

No presente trabalho, é descrito um sistema que prevê a utilização de reatores dimerizáveis acoplados a um controle do nível de iluminamento no plano de trabalho, denominado “sistema dimmer”. Durante o dia, com a entrada de luz natural no ambiente, o sistema de controle, através de fotocélula, automaticamente faz com que os reatores reduzam a potência dissipada pelas lâmpadas, mantendo constante o nível de iluminamento, segundo um valor pré-programado. O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho da integração do “sistema dimmer”, quanto ao consumo de energia elétrica.

2. O “SISTEMA DIMMER”

Uma interessante aplicação de um dispositivo regulador da iluminação interna à luz natural disponível baseia-se no sistema de utilização de dimmers acoplados a células fotoelétricas (figura 1). Tal sistema, denominado *daylight switching system*, monitora a luminosidade natural existente no ambiente através de uma fotocélula que fornece um sinal elétrico em função da iluminância medida. Quando a iluminância medida for inferior ao valor ajustado, o dispositivo aciona o sistema de iluminação artificial. Desta forma, quanto maior a parcela de luz natural incidente no ambiente, menor o consumo de energia elétrica em iluminação artificial (ALVAREZ, 2000).

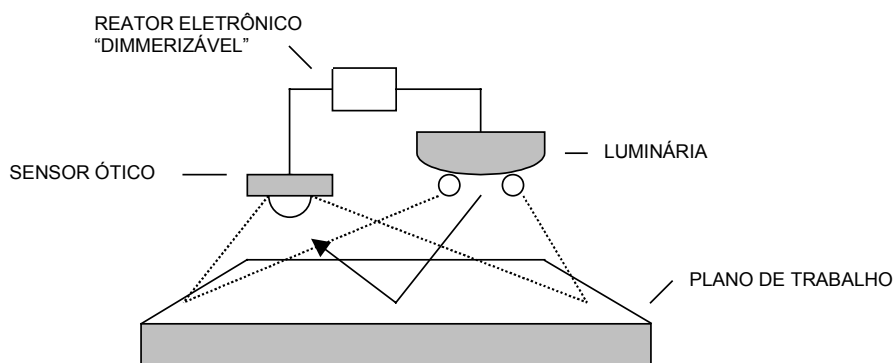


Fig. 1: Sistema dimmer-fotocélula (ALVAREZ, 2000)

¹ Observe-se que, na Unidade de Curitiba do CEFET-PR, há apenas um elevador e de uso restrito.

3. ENSAIOS REALIZADOS COM O SISTEMA DIMMER

A metodologia adotada consiste na realização de ensaios, em salas de aula, visando à obtenção de dados que permitem avaliar o consumo de energia elétrica de uma lâmpada durante o dia.

As medições foram realizadas em dois dias – 29/11/2001 e 11/10/2001. O local analisado foi a sala de aula Q-207 da unidade de Curitiba do CEFET-PR, cuja orientação da fachada encontra-se a NO. A sala Q-207 possui área de piso igual a 72,19 m² e área de janela igual a 12,50 m² e é destinada a atividades de laboratório. Neste trabalho, apenas os dados referentes à medição do dia 29/11/2001 serão apresentados, por se tratar do dia em que foi considerado como nível de iluminação ótimo o valor de 300 Lux, próprio para salas de aula, conforme apresentado na seqüência deste trabalho.

O procedimento de medição e os equipamentos utilizados são descritos a seguir.

3.1 Equipamentos utilizados

- a) 2 Luxímetros Digitais marca ICEL, modelo LD-500: Aparelho utilizado na medição das iluminâncias;
- b) Lâmpada Espelhada de 100W de Potência (127V): Utilizada na iluminação do ambiente, quando necessário;
- c) Analisador de energia (figura 2): Utilizado para medição de consumo de energia da lâmpada, de acordo com a potência solicitada (equipamento de monitoramento de consumo de energia *Energy Analyser EPM 900/IMS*);
- d) Varivolt: Utilizado para a regulagem da intensidade luminosa da lâmpada.



Fig. 2: Analisador de energia

3.2 Procedimento de medição

Os equipamentos (lâmpada, varivolt e analisador de energia) foram interligados de modo a permitir o controle do nível de iluminância da lâmpada, bem como o monitoramento simultâneo do consumo de energia. O controle do nível de iluminância da lâmpada foi realizado através do varivolt, com a regulagem manual da potência da lâmpada, de acordo com a variação da iluminação natural do ambiente. Esta variação decorre da mudança da posição solar durante o dia e da ocorrência ou não de nebulosidade. Foi instalado um luxímetro abaixo da lâmpada (ponto 1- figura 3) e outro do lado de fora da janela (ponto 2 – figura 3), a fim de medir o nível de iluminância interna (E_{int}) – no ambiente analisado – e o nível de iluminância externa (E_{ext}) – da luz natural.

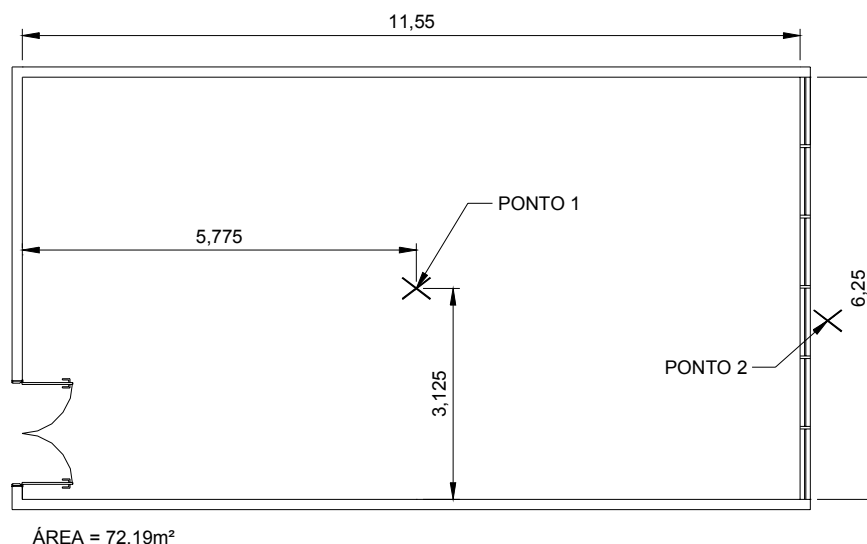


Fig. 3: Sala Q-207 – CEFET-PR, Unidade de Curitiba

A lâmpada de 100W foi posicionada acima do ponto central da sala (figura 4) a uma altura tal que, no plano de trabalho, obtinha-se a iluminância recomendada pela NB-57 na ausência de luz natural². A lâmpada foi conectada ao aparelho regulador de potência e voltagem (varivolt), que permitiu um total controle da potência dissipada pela lâmpada. A esse aparelho acoplou-se então o analisador de energia. O procedimento adotado foi o de observar a iluminância atingida ao longo do dia no ponto central da sala, segundo dados lidos no luxímetro naquele ponto, calibrando-se a potência da lâmpada para que fosse atendida a iluminância prescrita pela NB-57. No mesmo momento, eram tomados valores da iluminância externa, registrada pelo segundo luxímetro. O período abrangido pelo experimento foi das 8:00 às 16:00 horas. Assim, o processo de medição foi realizado a cada intervalo de quinze minutos, constituindo-se da leitura dos dois luxímetros, simultaneamente, e na regulagem do nível de iluminância gerado pela lâmpada, quando necessário.

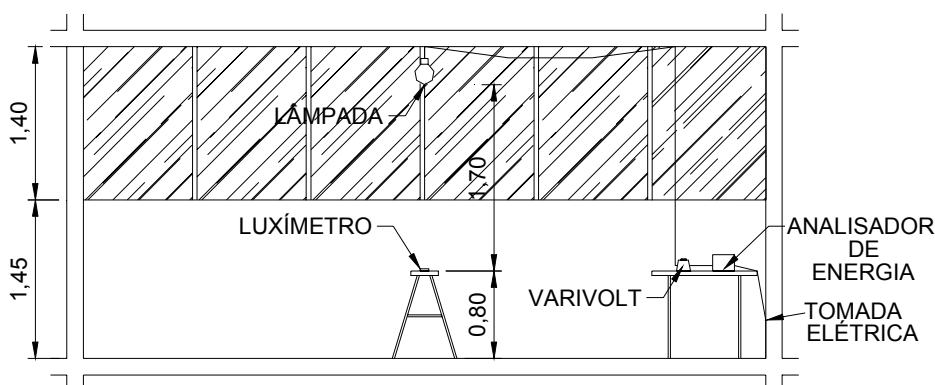


Fig. 4: Corte esquemático da sala Q-207 da Unidade Curitiba do CEFET-PR

3.3 Monitoramento

No ensaio do dia 29/09/2001, o dia apresentou-se totalmente nublado e, como nível de iluminância ótimo para o ambiente em questão, foram considerados 300 Lux. Este nível de iluminância, segundo a NB-57, é indicado para salas de aula com usuários de idade inferior a 40 anos, nas quais a velocidade e precisão são importantes e onde a refletância do fundo da tarefa está entre 30% a 70%. Cada

² Para evitar que a potência máxima da lâmpada (no caso, 100W) fosse ultrapassada, o posicionamento desta em relação ao ponto considerado foi ajustado no período noturno, na ausência de luz natural, de forma que o valor lido no luxímetro fosse igual ao recomendado.

regulagem necessária da lâmpada objetivou deixar o plano de trabalho com nível de iluminância de 300 Lux. Na figura 5, pode ser verificada a relação entre iluminância interna e externa no decorrer da medição.

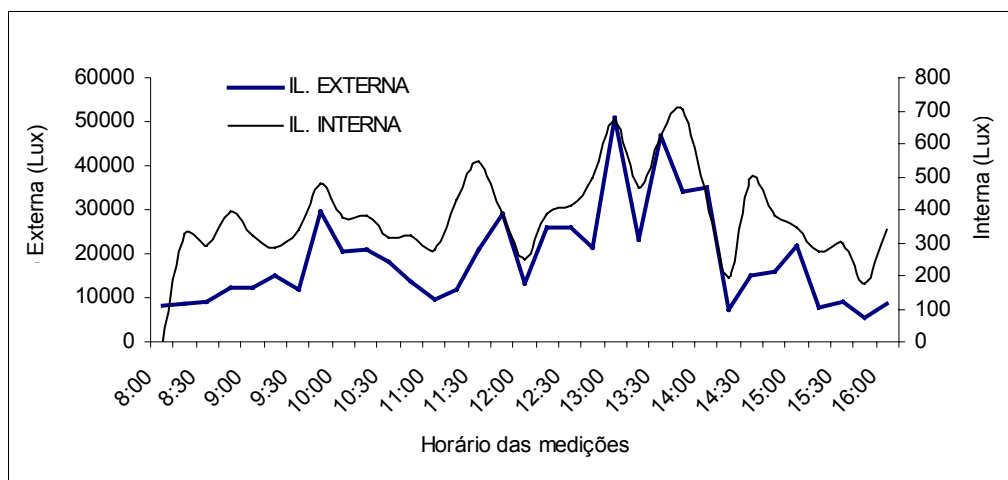


Fig. 5: Gráfico da iluminância externa e interna do dia 29/09/2001

A proporcionalidade entre a iluminância externa e interna, foi confirmada com a realização de um segundo ensaio, no dia 05/10/2001 (figura 6). Para a realização deste ensaio, foram instalados luxímetros nos mesmos pontos do ensaio anterior, sem a utilização de iluminação artificial.

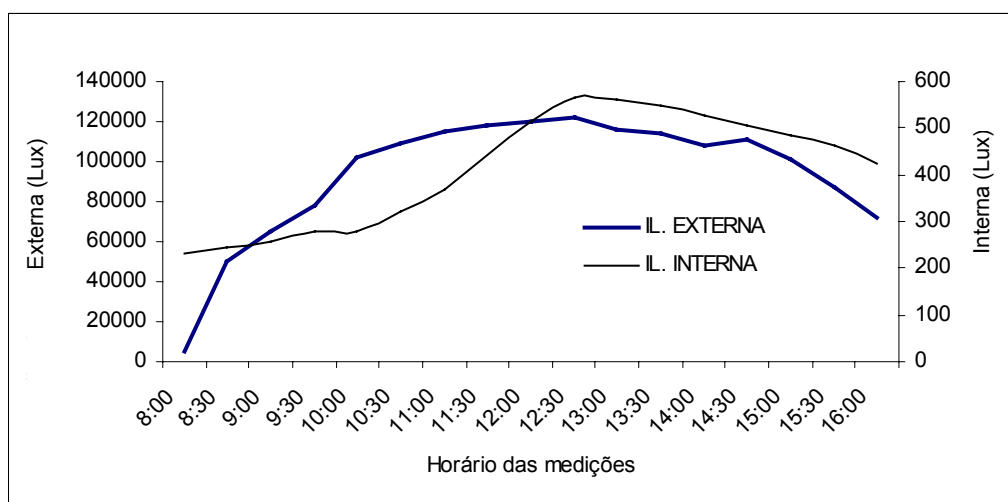


Fig. 6: Gráfico comparativo entre iluminância externa e interna do dia 05/10/2001

3.4 Resultados

Para o propósito de se avaliar o potencial de economia de energia com o maior aproveitamento da luz natural em salas de aula, foram analisados especificamente os dados obtidos na primeira medição, na qual foi adotado o nível de iluminância de 300 Lux.

O analisador de energia permitiu obter a potência da lâmpada e o respectivo consumo de energia, durante o período de medição, para manter o nível de iluminância constante e igual ao recomendado. A figura 7 apresenta os dados de iluminância externa e consumo de energia para cada intervalo de medição, do dia 29/09/2001. Assim, pode-se observar que quanto maior a iluminância externa, menor será o consumo de energia.

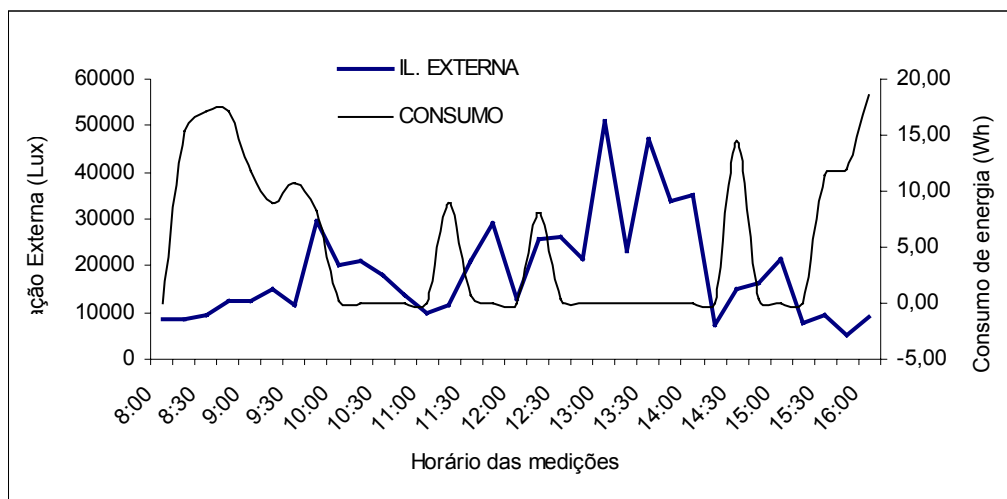


Fig. 7: Gráfico comparativo entre iluminância externa e o consumo de energia do dia 29/09/2001

Observou-se que a iluminância externa e interna são proporcionais (figura 6). A partir desta proporcionalidade, verificou-se a necessidade de se obter um parâmetro (radiação solar global), com o qual fosse possível estimar a iluminância externa e interna, sem a necessidade de realização de novos ensaios. A partir desse parâmetro, procurou-se estabelecer relações simples quanto aos dados medidos. A tabela 1 apresenta de forma agrupada os dados obtidos no primeiro ensaio, a partir dos quais extraiu-se os fatores aqui denominados de X, Y e Z.

Tab. 1: Quadro- resumo para o dia 29/09/2001

Hora	Iluminância Interna E_{Int} (Lux)	Iluminância Externa E_{Ext} (Lux)	Consumo de Energia (Wh)	Radiação Solar Global I (W/m^2)	Fator X	Fator Y	Fator Z
08:00	330	8400	12,39	77	109,09	0,04	0,04
09:00	324	12500	9,91	170	73,53	0,03	0,03
10:00	377	20300	0,04	318	63,84	0,02	0,00
11:00	280	9700	2,42	330	29,39	0,03	0,01
12:00	249	13000	2,09	400	32,50	0,02	0,01
13:00	670	51000	0,00	547	93,24	0,01	0,00
14:00	431	35000	3,71	394	88,83	0,01	0,01
15:00	345	21600	5,86	213	101,41	0,02	0,02
16:00	340	8800	18,57	162	54,32	0,04	0,05
Valores médios	334,6	18030	5,5	261,1	71,79	0,02	0,02

A iluminância externa pode ser escrita em função da radiação, por meio de sua multiplicação por um fator aqui denominado como Fator X. Este fator corresponde ao rendimento luminoso da radiação (Hopkinson *et al.*, 1966), podendo ser calculado da seguinte forma:

$$Fator X = E_{Ext} / I \quad (Eq. 1)$$

Onde:

X é o rendimento luminoso radiação, em lm/W

E_{Ext} é a iluminância média, em lux

I é a radiação solar global média, em W/m^2

A iluminância interna pode ser escrita em função da iluminância externa, por meio de sua multiplicação por um fator aqui denominado Fator Y. Esse fator corresponde ao denominado *daylight*

factor (DF), determinado aqui empiricamente a partir dos dados da tabela 1, com a utilização da equação 2.

$$Fator Y = E_{Int} / E_{Ext} \quad (Eq. 2)$$

Onde:

Y é o daylight factor, adimensional

E_{Int} é a iluminância média interna, em lux

E_{Ext} é a iluminância média externa, em lux

O consumo de energia pode ser então estimado em função da iluminância interna, por meio de sua multiplicação por um fator aqui denominado fator Z. A determinação do fator Z foi feita por meio dos dados apresentados na tabela 1. A determinação do fator Z pode ser feita com a utilização da equação 3.

$$Fator Z = Consumo / E_{Int} \quad (Eq. 3)$$

Dessa maneira, pode-se escrever o consumo de energia elétrica em função da iluminância interna, com o uso da equação 4.

$$Consumo = E_{Int} \times Fator Z \quad (4)$$

3.5 Economia de energia

Com base em todos os dados coletados e nos índices médios calculados (tabela 1, última linha), foi possível ordenar dados para qualquer intervalo de tempo em que se queira avaliar a redução no consumo de energia.

Neste trabalho, apresenta-se a economia de energia elétrica que se obteria com o uso do sistema de integração para o período de um ano³, sendo desconsiderados os finais de semana e analisando apenas o intervalo de 8:00 às 16:00hs.

Por se tratar de um número muito grande de dados, apresenta-se na tabela 2 apenas o procedimento de como foram ordenados os dados, para um intervalo de tempo de um dia útil, nos horários considerados.

Tab. 2: Esquema geral de cálculo para o período de 1 ano

Data	HORÁRIO	Radiação Solar Global I (W/m ²)	Cálculo da Iluminância Externa E_{Ext} (Lux)	Cálculo da Iluminância Interna E_{Int} (Lux)	Cálculo do Consumo de Energia Correspondente (Wh)
1/mar	08:00	68,4	4910	93	1,68
1/mar	09:00	139	9979	190	3,41
1/mar	10:00	199,8	14344	273	4,91
1/mar	11:00	423,4	30396	578	0,00
1/mar	12:00	473,6	34000	646	0,00
1/mar	13:00	490,4	35206	669	0,00
1/mar	14:00	472,8	33942	645	0,00
1/mar	15:00	421,9	30288	575	0,00
1/mar	16:00	198,7	14265	271	4,88

Fazendo os mesmos cálculos para o período de um ano, num total de 2049 horas, obtêm-se como soma do consumo de energia elétrica, com a utilização do sistema de integração, 2056Wh.

Se, para o mesmo intervalo de horas, a lâmpada estivesse o tempo todo ligada, sem ajustes na sua potência, seria encontrado o consumo 100W x 2049horas =204900 Wh.

³ Adotou-se, no caso, dados de radiação relativos ao ano climático de referência (TRY), para Curitiba.

Comparando o valor de consumo obtido com o valor de consumo obtido com a utilização do sistema, verifica-se que houve uma redução de consumo de aproximadamente 99%, ao se utilizar o sistema no período referido.

O valor de redução encontrado (99%) refere-se apenas a um ponto da sala (ponto 1 - figura 3) e pode ser justificado pelo fato de a lâmpada permanecer a maior parte do tempo apagada devido ao aproveitamento da luz natural. Desta forma, isso não representa a redução do consumo real da sala de aula, que tem atividades não apenas nos horários especificados, mas sim ao longo de todo o período da manhã, tarde e noite.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos com as medições, verifica-se que durante o dia a iluminação artificial pode ser substituída pela iluminação natural, durante a maior parte do tempo. Considerando o fato de que as medições foram realizadas em dias de nebulosidade parcial, conclui-se que em dias de céu claro, isto é, sem nebulosidade, pode-se utilizar somente iluminação natural e dispensar a artificial. Ou seja, o desempenho do sistema de integração entre luz artificial e natural, em dias de céu claro, apresenta-se totalmente eficaz.

Isso representa uma grande economia financeira para instituições de ensino com perfil similar ao da analisada (CEFET-PR unidade de Curitiba), com 80% do consumo de energia sendo destinados à iluminação.

Assim, conhecendo-se as características da sala e, em especial, do plano de trabalho, em relação à captação da luz natural, pode-se montar um “sistema dimmer” através do qual os níveis de iluminamento recomendados são atendidos, proporcionando uma redução substancial no consumo de energia elétrica.

A pesquisa realizada foi fruto de um trabalho final de graduação, desenvolvido ao longo de um período de tempo limitado. Em razão disto, sugere-se uma investigação minuciosa do denominado fator X (o qual sofreu maiores variações durante o dia), com auxílio de instrumentos de medição de radiação solar acoplados a luxímetros.

Na pesquisa, os valores externos de iluminância foram obtidos diretamente fora da janela, para facilitar o acesso, havendo, assim, obstrução da abóbada celeste. Uma melhor determinação de Eext seria recomendável neste tipo de ensaio, considerando a abóbada celeste inteiramente descoberta e diferentes condições de céu.

Ainda, o fator Y (DF) pode ser determinado por meio de gráficos e nomogramas (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973). Assim, bastaria que se verificasse a radiação global média disponível e, usando-se o DF calculado ou medido e tendo-se determinado com maior precisão a relação iluminância externa / radiação solar global (fator X), poder-se-ia calcular a eficiência do sistema em termos do consumo energético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, A.L.M. Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação. São Paulo: Politécnica USP, 2000. (mimeo)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Iluminância de Interiores (NB-57). Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- HOPKINSON R. G.; PETHERIDGE P.; LONGMORE J.. Iluminação Natural. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1966.
- KOENIGSBERGER, O.H.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S.V. Manual of Tropical Housing and Building. New York: Longman, 1973.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA Balanco Energético Nacional. Brasília: MME, 2000.
- PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. Manual de Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos e Comerciais. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1988.