

ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA DA UNICAMP.

DENIS GUSTAVO FANTINATO*¹, GABRIEL FELIPE CHAGURI FELICIO²,
GABRIEL GALVÃO MONSTAFE MAGRO¹

¹Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação/UNICAMP

²Curso de Graduação em Engenharia da Computação – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação/UNICAMP

E-mail do autor correspondente: denisfantinato@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho é basicamente avaliar a quantidade da iluminação natural aproveitada nas salas de aula da Unicamp. É muito comum notarmos o desperdício de energia elétrica por todo o campus da Unicamp, sendo que uma destas acontece em plena luz do dia dentro das salas de aula, onde pouco se aproveita a iluminação natural desperdiçando grande quantidade de energia elétrica. Neste trabalho iremos analisar a quantidade de luz aproveitada nas salas de aula, avaliar as medidas cabíveis para se aproveitar de forma mais eficiente a luz natural e assim economizar energia, além de mostrar os benefícios que a luz natural dentro dos ambientes traz para o ser humano.

PALAVRAS-CHAVE: iluminação natural, intensidade luminosa, conservação de energia.

INTRODUÇÃO

A UNICAMP teve seus edifícios construídos em épocas diferentes com arquitetos diferentes e, ainda, alguns atualmente em construção devido à ampliação de institutos e à criação de novos. Devido à esta diferença temporal, os edifícios da UNICAMP são bastante diversificados. Desde João Carlos Bross, o arquiteto do plano diretor, várias

mudanças ocorreram na arquitetura e engenharia, de forma a introduzir novas considerações na concepção de um novo prédio, dentre elas a iluminação natural. O aproveitamento da luz natural dentro de salas de aula, além de economizar energia elétrica, beneficia a saúde e o aprendizado (BERTOLOTTI, 2007). A luz natural fornece o mais rico espectro de luz atenuando o esforço implícito nas tarefas

visuais. A luz natural, pela ampla composição e abrangência de seu espectro, é mais favorável à identificação de contrastes e diferenciação de cores e à percepção de formas tridimensionais do que a iluminação artificial. A luz natural tem sido associada a atitudes e a estado de espírito positivos, redução de faltas ao trabalho e na escola, aumento do desempenho de estudantes, maior produtividade, diminuição do cansaço e fadiga visual, diminuição de erros e defeitos na produção (EDWARDS, TORCELLINI, 2002).

Para uma análise quantitativa da luz natural, introduz-se aqui o termo fluxo luminoso expresso em lúmen (SI), significando uma medida para indicar a quantidade de emitida por um corpo. Outro termo útil é a luminosidade, expressa em Lux (SI), a unidade de iluminação de um lúmen por metro quadrado (SI).

Dessa forma, este trabalho tem o intuito de analisar e quantificar a luz natural presente nas salas de aula dos institutos e faculdades selecionados da UNICAMP, com um instrumento de medição baseado numa resistência que varia conforme a intensidade luminosa que nela é irradiada.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise da intensidade luminosa, utilizou-se um instrumento baseado principalmente em uma resistência, o LDR (Light Dependent Resistor). Também chamado de célula fotocondutiva, ou ainda de fotoresistência, essa resistência pode variar sua resistividade conforme a intensidade luminosa que nela incide.



Figura 1. LDR (Light Dependent Resistor).

A resistência do LDR varia de forma inversamente proporcional à quantidade de luz incidente sobre ela. Ou seja, se a intensidade luminosa que incide sobre o LDR for alta, este apresentará uma resistência baixa. Caso existir pouca ou nenhuma luz, o LDR oferece uma resistência muito alta.

A utilização do LDR é válida como um instrumento quantitativo de medida luminosa porque sua variação resistiva apenas acontece por influência da intensidade de radiação eletromagnética do espectro visível que incide sobre ele. Ou seja, não sofre interferência de outros tipos de radiações. Também, apresenta um comportamento praticamente linear em relação à intensidade luminosa, obedecendo à equação:

$$R = C.L.a$$

Onde L é a luminosidade em Lux, C e a são constantes dependentes do processo de fabricação e material utilizado.

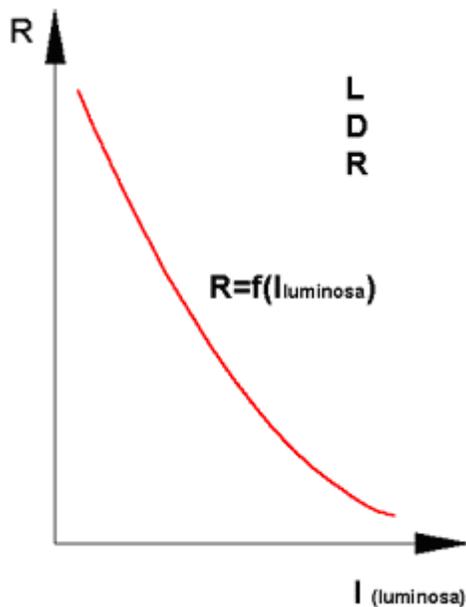


Figura 2. Curva característica do LDR.

O LDR foi ligado aos terminais de um multímetro para a medição da resistência oferecida por aquele, conforme figura abaixo:



Figura 3. LDR acoplado em multímetro.

Dessa maneira, para efetuar uma medição, se faz necessário levar o multímetro com o LDR até o ponto de amostragem que, no caso, eram sempre as carteiras de estudos, e observar qual a resistência apresentada pelo LDR.

Para as medições foram escolhidas geralmente 5 amostras por sala de aula analisada: pontos próximos e distantes às janelas e no meio da sala. A amostragem foi colhida em cima das carteiras de estudo, já que este é o ponto onde é exigida maior visibilidade. A figura abaixo ilustra, como foi feita a seleção dos pontos de amostragem:

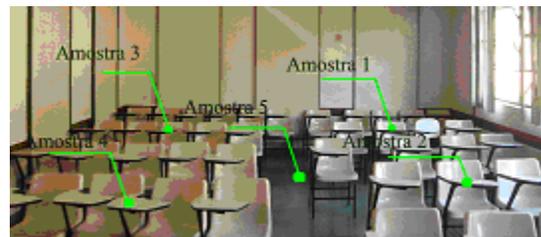


Figura 4. Pontos de amostragem.

Em geral, foram analisadas apenas duas salas por unidade escolhida dentre os institutos e faculdades da UNICAMP. Isto porque a arquitetura utilizada em cada sala de aula em uma unidade varia muito pouco, mudando-se apenas as posições das salas, de forma a não apresentar variação significativa sobre as médias a serem obtidas na análise. Foram consideradas apenas as salas com janelas ou algum tipo de abertura externa que possibilitasse a entrada de luz. O edifício da Biologia, por exemplo, como o prédio mais antigo da UNICAMP, não possui janelas em suas salas de aula, de forma a não ter nenhum aproveitamento da iluminação natural.

Os institutos e faculdades selecionados podem ser observados na figura 5.

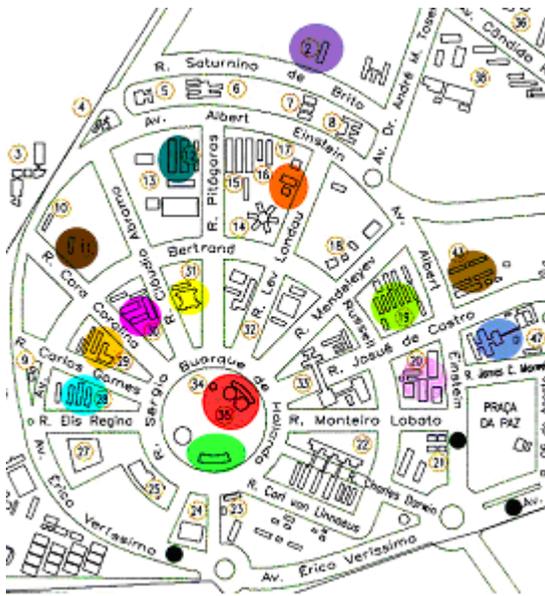


Figura 5. Unidades analisadas.

- FEEC - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
- Ciclo Básico I
- Ciclo Básico II
- IMECC - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica
- IFCH - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
- IEL - Instituto de Estudos da Linguagem
- IA - Instituto de Artes
- CEL - Centro de Ensino de Línguas
- IE - Instituto de Economia
- FE - Faculdade de Educação
- FEC - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
- FEM - Faculdade de Engenharia Mecânica
- FEQ - Faculdade de Engenharia Química
- FEA - Faculdade de Engenharia de Alimentos

Figura 6. Legenda das unidades selecionadas dentro da UNICAMP.

No total, 14 unidades foram analisadas dentro do campus.

As medidas foram feitas em dias claros e ensolarados, entre as 15h00min e 16h00min.



Figura 7. 1º dia de amostragem.

Após a coleta dos dados, foram obtidas as médias de cada unidade analisada. Aquelas que obtiveram menor resistência, são as salas que melhor aproveitam a iluminação natural.

Para melhor comparação dos dados, foram escolhidos padrões baseados na percepção dos membros do grupo. Os padrões adotados foram intensidade de luz ótima, intensidade de luz razoável e limite de visibilidade para leitura, descritos a seguir. Os padrões foram obtidos individualmente, onde cada integrante permaneceu um dia com o instrumento de medição dentro de uma sala com boa iluminação natural durante um período do dia com grande variação de luz: o pôr do sol.

O padrão de intensidade de luz ótima é a intensidade de luz mínima considerada ideal para as atividades acadêmicas. A intensidade de luz razoável é a quantidade de luz que deixa de ser ideal para as atividades acadêmicas, mas que ainda é possível de serem realizadas com um mínimo de esforço.

Quanto ao limite de visibilidade para leitura, significa a intensidade mínima de luz em que ainda é possível ler o que está escrito em um papel.

Também foi ouvida a professora do CEL Norma Wucherpfennig, alemã,

para tratar sobre as diferenças culturais sobre o aproveitamento da luz natural.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente buscou-se estabelecer os padrões de iluminação para que fosse possível a comparação com as medidas das salas de aula. Baseado na percepção dos membros do grupo, os padrões adotados (intensidade de luz ótima, intensidade de luz razoável e limite de visibilidade para leitura) foram medidos individualmente durante o pôr do sol, momento em que é possível verificar uma variação constante de intensidade luminosa. Vale lembrar que estes dados dependem da capacidade perceptiva dos integrantes do grupo, e podem não corresponder a uma amostra representativa da sociedade, servem apenas para comparação de dados.

Tabela 1. Padrões para comparação.

Medições em K Ω				
	Integrantes do Grupo			
	Denis	Gabriel F.	Gabriel M.	médias
Intensidade de luz ótima	15	8	10	11
Intensidade de luz razoável	38	20	20	26
Limite de visibilidade para leitura	260	190	330	260

Considerou-se portanto, através das médias obtidas, como padrão de intensidade de luz ótima 11 K Ω , intensidade de luz razoável 26 K Ω e limite de visibilidade para leitura 260 K Ω .

Dessa forma, salas que possuem medidas que estiverem abaixo do padrão de intensidade de luz ótima, são salas bem iluminadas, sem necessidade de luz artificial para complementar a

iluminação. Medidas entre o padrão de intensidade de luz ótima e intensidade de luz razoável indicam que apenas a luz natural não é suficiente.

Acima do padrão de intensidade de luz razoável, classifica-se a sala com pouca penetração de luz natural.

O limite de visibilidade para leitura expressa mais uma base para noção de intensidade de luz muito fraca. Salas com medidas superiores a esta são geralmente sem janelas, utilizadas para projeção.

Também para fins de comparação, foram medidas a intensidade luminosa irradiada por uma lâmpada incandescente e por uma lâmpada fluorescente. Em média, a lâmpada incandescente apresenta resistência de 5,1 K Ω , enquanto uma lâmpada fluorescente 3,0 K Ω .

A seguir, tem-se os resultados das medições e médias de cada unidade selecionada, todas em K Ω :

FEEC – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Tabela 2. Medições e média na FEEC.

Medições em K Ω			
Sala FE11		Sala FE22	
1	8,6	1	7,5
2	7,3	2	8,2
3	8,4	3	17,5
4	11,7	4	19,2
5	22,3	5	22,3
média	11,66	média	14,94



Figura 8. Sala FE11 da FEEC.

Apesar das salas possuírem películas escuras nas janelas, a intensidade luminosa média se encontra entre a intensidade de luz ótima e a intensidade de luz razoável, sendo possível o aproveitamento da luz natural durante as aulas matutinas e até vespertinos.

Ciclo Básico I

Tabela 3. Medições e média no Ciclo Básico I.

Medições em K Ω			
Sala CB01		Sala CB14	
1	176	1	248
2	257	2	526
3	589	3	621
4	642	4	723
5	703	5	781
média 473,4		média 579,8	

As salas do Ciclo Básico I possuem apenas pequenas janelas que se situam na porta. A média foi superior ao padrão limite de visibilidade para leitura, ou seja, as salas são muito escuras quando iluminadas apenas pela luz natural.

Ciclo Básico II

Tabela 4. Medições e média no Ciclo Básico II.

Medições em K Ω			
Sala PB15		Sala PB23	
1	9,7	1	12,5
2	12,3	2	19,8
3	25,9	3	29,7
4	32,4	4	38,2
5	28,3	5	37,4
média 21,72		média 27,52	



Figura 9. Sala PB15 no Ciclo Básico II.

As salas do Ciclo Básico II apresentam intensidade luminosa próxima à intensidade luminosa razoável, de forma a ser necessário luz artificial para complementar a luz natural insuficiente.

IMECC - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica

Tabela 5. Medições e média no IMECC.

Medições em K Ω			
Sala 323		Sala 324	
1	2,3	1	1,8
2	2,2	2	2,1
3	2,8	3	2,6
4	3,3	4	3,4
5	3,5	5	3,3
média 2,82		média 2,64	



Figura 10. Sala 323 do IMECC.

As salas do IMECC possuem ótimo aproveitamento da luz natural, com muita luz em todos os cantos das salas. Possuem cortinas caso a luz esteja muito intensa. A boa iluminação se dá devido à posição das janelas e sua orientação.

O IMECC é um dos poucos institutos cuja estrutura tem uma preocupação com a iluminação natural. A utilização de telhas semi-transparentes iluminam todo o interior do instituto, como é possível observar na figura 11.



Figura 11. Interior do IMECC.

IFCH – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas

Tabela 6. Medições e média no IFCH.

Medições em K Ω	
Sala IH10	
1	8,9
2	22,1

3	15,8
4	26,4
5	46,3
média	23,9



Figura 12. Sala IH10 do IFCH.

As salas do IFCH possuem grandes janelas, mas com películas bastante escuras que dificultam a iluminação pela luz natural. Apesar da média estar próxima ao padrão de intensidade de luz razoável, apenas as carteiras mais próximas às janelas são bem iluminadas.

IEL – Instituto de Estudos da Linguagem

Tabela 7. Medições e média no IEL.

Medições em K Ω			
Sala CL01		Sala CL02	
1	47,6	1	38,4
2	59,4	2	48,3
3	58,7	3	56,9
4	64,5	4	67,2
5	52,4	5	63,1
média	56,52	média	54,78

As salas do IEL são bastante escuras, com janelas com películas escuras cuja média das medições se deu maior que o padrão de intensidade de luz razoável. Tem também isolamento acústica.

IA – Instituto de Artes

Tabela 8. Medições e média no IA.

Medições em K Ω			
Sala AP03		Sala AP04	
1	2,4	1	4,2
2	3,6	2	4,7
3	2,9	3	5,3
4	5,4	4	3,9
5	3,7	5	6,1
média	3,6	média	4,84

As salas do IA possuem janelas de tamanho médio, porém muito altas. Isto proporciona as salas deste instituto um ótimo nível de iluminação natural, contribuindo para a saúde física e mental do estudante. Lembrando que a luz natural, quando em boa intensidade, evita esforço da visão e facilita identificação e observação de detalhes dos objetos em relação à luz artificial. A média das medições encontra-se abaixo do padrão de intensidade de luz ótima.

CEL – Centro de Ensino de Línguas

Tabela 9. Medições e média no CEL.

Medições em K Ω			
Sala CI02		Sala CI09	
1	3,4	1	2,6
2	2,7	2	1,0
3	1,9	3	1,5
4	2,6	4	2,8
5	1,7	5	3,1
média	2,46	média	2,2

Com janelas semelhantes às do IA, as salas do CEL são bastante iluminadas, com médias das medições inferior ao padrão de intensidade de luz

ótima, ou seja, com ótima intensidade de luz natural.

IE – Instituto de Economia

Tabela 10. Medições e média no IE.

Medições em K Ω			
Sala IE10		Sala IE07	
1	10,8	1	8,9
2	9,6	2	8,4
3	4,2	3	5,1
4	5,7	4	3,85
5	12,1	5	8,4
média	8,48	média	6,93

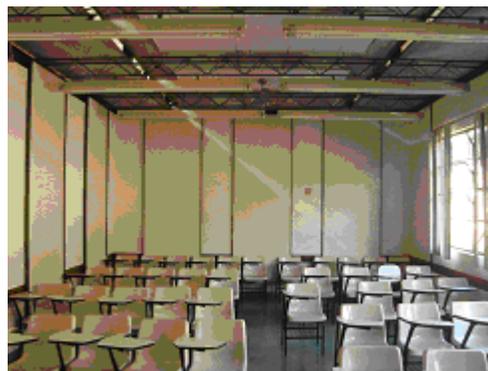


Figura 13. Sala IE07 do IE.

As salas do IE possuem grandes janelas, inclusive aberturas no telhado e recortes de vidro na parede. A média das medidas se deu menor que o padrão de intensidade de luz ótima. O IE chamou a atenção devido ao bom aproveitamento da luz natural.

FE – Faculdade de educação

Tabela 11. Medições e média na FE.

Medições em K Ω			
Sala ED14		Sala ED22	
1	1,25	1	2,5
2	8,44	2	6,51
3	2,63	3	2,7

4	10,4	4	7,1
5	5,4	5	6,4
média	5,62	média	5,04

A FE possui salas com janelas altas, mas com película bastante escura. Isto compromete um pouco da penetração da luz natural em alguns pontos da sala. Mesmo assim, devido ao tamanho das janelas, a iluminação por parte da luz natural é suficiente, sendo classificada abaixo do padrão de luz ótima.

FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Tabela 12. Medições e média na FEC.

Medições em K Ω			
Sala CA11		Sala CA21	
1	2,3	1	1,9
2	1,6	2	1,7
3	2,5	3	2,5
4	3,4	4	2,6
5	1,2	5	2,4
média	2,2	média	2,21



Figura 14. Sala CA11 da FEC.

As salas analisadas possuem um dos melhores índices analisados de todo o campos. As grandes janelas que perfazem uma das paredes iluminam significa-

tivamente toda a sala, apesar das carteiras mais distantes das janelas serem menos privilegiadas. Mesmo estas, a intensidade de luz que as atinge é muito boa. A média das medidas se deu bastante inferior ao padrão de intensidade de luz ótima.

FEM – Faculdade de Engenharia Mecânica

Tabela 13. Medições e média na FEM.

Medições em K Ω			
Sala EM22		Sala EM25	
1	1,0	1	2,4
2	4,9	2	3,5
3	2,5	3	7,4
4	8,4	4	8,4
5	7,6	5	6,1
média	4,88	média	5,56



Figura 15. Sala EM22 da FEM.

Com janelas bastante semelhantes à da FE, a iluminação natural das salas da FEM são boas, sendo as medições classificadas todas abaixo do nível de luz ótima.

FEQ – Faculdade de Engenharia Química

Tabela 14. Medições e média na FEQ.

Medições em K Ω			
------------------------	--	--	--

Sala EQ12	
1	1,6
2	2,3
3	8,4
4	6,7
5	8,8
média	5,56



Figura 16. Sala EQ12 da FEQ.

Trata-se de uma sala bastante semelhante às da FEM. A iluminação natural é muito boa apesar das películas escuras coloridas nas janelas. As medidas se apresentaram inferiores ao padrão de intensidade de luz ótima.

FEA – Faculdade de Engenharia de Alimentos

Tabela 15. Medições e média na FEA.

Medições em K Ω			
Sala FA12		Sala FA15	
1	8,7	1	18,5
2	9,5	2	11,4
3	16,3	3	23,1
4	31,6	4	29,3
5	33,7	5	30,5
média	19,96	média	22,56



Figura 17. Sala FA12 da FEA.

As salas da FEA seguem o padrão da FEM e FEQ. No entanto possuem obstruções às janelas, tanto dentro como fora da sala de aula. Isso faz com que alguns pontos da sala fiquem mais prejudicados. As médias se deram próximas ao padrão de intensidade de luz razoável, necessitando de luz artificial para complementar a iluminação.

Baseando-se na maior média obtida, fez-se a classificação das unidades selecionadas apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16. Classificação das unidades selecionadas.

Classificação das unidades avaliadas				
	Inferiores ao padrão de intensidade luz ótima	Entre intensidade de luz ótima e razoável	Superiores à intensidade de luz razoável	Superiores ao limite de visibilidade para leitura
FEEC		X		
Ciclo B. I				X
Ciclo B. II		X		
IMECC	X			
IFCH		X		
IEL			X	
IA	X			
CEL	X			
IE	X			
FE	X			
FEC	X			
FEM	X			
FEQ	X			
FEA		X		

Em ordem de decréscimo da intensidade luminosa, tem-se, em 1º lugar a FEC, seguido de CEL e IMECC, que foram as unidades que mais chamaram a atenção. Após as três primeiras posições, obteve-se: IA, FEM, FEQ, FE, IE, FEEC, FEA, Ciclo Básico II, IFCH, IEL e, por último, Ciclo Básico I.

Em grande parte dos casos, verificou-se locais cuja apenas iluminação natural é suficiente, no entanto, apresentavam lâmpadas acesas sem necessidade, principalmente em corredores.



Figura 17. Desperdício de energia elétrica.

Nas salas de aula, os alunos que lá se encontravam sentiam necessidade de acender às lâmpadas mesmo com luz natural suficiente. Através disto, observou-se algo que pode estar associado a fatores culturais. Para isto, entrevistou-se a professora Norma Wucherpennig do CEL, alemã, para comparar os hábitos brasileiros com os alemães no tocante ao aproveitamento da luz natural.

De acordo com Norma, são vários os fatores que permitem existir uma diferença cultural em relação ao aproveitamento da luz natural. Durante o inverno, por exemplo, os alemães possuem um dia com luz natural mais curto enquanto que, no inverno, o dia é extremamente longo, com nascer do sol por volta das 5 horas e pôr do sol por

volta das 22 horas. Isso fez com que os alemães passassem a apreciar a luz. Além disso, houveram iniciativas de conscientização por parte do governo nos anos 70 para economizar eletricidade e respeitar a natureza. Outro fator importante, é que os alemães possuem maior consciência da quantidade de energia que se gasta com a luz acesa, de forma que estar com a luz apagada significa redução na conta de luz.

Norma compara que, quando há luz natural com intensidade razoável em um ambiente, uma medida que tomaria seria sentar-se próxima a uma janela enquanto que um brasileiro provavelmente sequer pensaria antes de acender a luz.

Também afirma que acredita que os alunos brasileiros acendem a lâmpada com mais frequência pelo fato de estarem acostumados com uma intensidade de luz maior, mesmo que a luz natural no ambiente seja suficiente. Além disso, critica que a estrutura do prédio para aproveitamento da luz natural é precária, de forma que a luz natural chega a ser muito intensa, provocando dificuldade na visualização e também causa aquecimento desconfortável em alguns horários do dia.

Apesar disso, Norma acredita que a conscientização está acontecendo, e que este é processo lento assim como foi na Alemanha. Mesmo assim, faltam incentivos por parte do governo que propiciem a economia de energia por parte dos consumidores em geral.

Norma tenta conscientizar seus alunos questionando a necessidade de se acender uma lâmpada quando não é necessária sua utilização. E compara com o caso alemão. De acordo com ela: “Se tem luz, então vamos aproveitar!”.

CONCLUSÕES

A maioria das unidades analisadas possui salas com boa penetração de luz natural, no entanto, o uso de películas protetoras nas janelas e cortinas demonstra que a orientação dos prédios e janelas não conseguem aproveitar a luz natural de forma correta. Esta deve ser controlada para evitar a incidência direta da luz do Sol, o ofuscamento e o aquecimento excessivo de ambientes de salas de aula em climas quentes e, ao mesmo tempo aproveitar a iluminação natural, tanto difusa quanto direta refletida, para obter maior conforto visual, melhorando o desempenho e o bem-estar dos estudantes e economizar energia.

Além disso, a não conscientização por parte dos estudantes e zeladores das unidades no consumo de energia é outro fator de grande importância, notado pelas lâmpadas acesas desnecessariamente.

Ghisi (1997), em sua dissertação de mestrado, avaliou o potencial de conservação de energia elétrica em salas de aula do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, apresentando o aproveitamento da luz natural com uma redução de 9% na energia elétrica. Segundo a ABILUX, Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (1995), o consumo de energia elétrica por parte da luz artificial chega a 90% desta. Dado que a rede de ensino do estado de São Paulo é formada por cerca de 7000 escolas, é possível imaginar quão significativa é a economia que a correta utilização dos recursos naturais de iluminação poderia proporcionar.

REFERÊNCIAS

BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a**

qualidade da iluminação e conservar energia. São Paulo: FAUUSP, 2007.

EDWARDS, L., TORCELLINI, P. **A Literature review of the effects of natural light on buildings occupants.** Colorado: julho de 2002.

FIGUEIRO, Mariana G. et al. **Daylight and productivity - a field study.** Washington, 2002.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit de sistemas de iluminação:** estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. Florinópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. 305 p.

LDR – Light Dependent Resistor. Disponível em:
<http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm>

WIKIPEDIA. LDR. Disponível em:
<<http://pt.wikipedia.org/wiki/LDR>>