

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE ESTUDO DE RETROFIT NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Eneid Ghisi, Eng^a Civil, MSc
LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
UFSC - CTC - ECV - NPC - CEP 88040-900 - Cx. Postal 476
Fone: (048) 331-9598 Ramal 26; E-mail: ecv3egh@ecv.ufsc.br

Roberto Lamberts, Eng^a Civil, PhD
NPC - Núcleo de Pesquisa em Construção
UFSC - CTC - ECV - NPC - CEP 88040-900 - Cx. Postal 476
Fone: (048) 331-7090; E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos na avaliação do potencial de conservação de energia elétrica realizado através de um estudo de *retrofit* no sistema de iluminação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Apresenta-se o uso final de energia elétrica estimado para o campus, bem como a análise do atual sistema de iluminação e os benefícios proporcionados por um novo sistema energeticamente eficiente.

ABSTRACT

This paper presents an evaluation of the energy saving potential of the Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). The study is developed through the possibility of retrofitting the lighting system. The energy end-use and the evaluation of the actual lighting system are presented together with the benefits obtained by the new energy-efficient: lighting system.

INTRODUÇÃO

O objetivo de todo sistema de iluminação é proporcionar um ambiente visual adequado que forneça a luz mínima necessária à realização de tarefas visuais executadas por ocupantes de postos de trabalho, ou seja, a luz deve ser fornecida e direcionada à superfície de trabalho para que os ocupantes do posto de trabalho consigam desenvolver suas atividades. Além do que, esta iluminação deve atender as exigências do usuário apenas nos momentos em que se realiza a tarefa visual, normalmente determinado pelo período de ocupação do ambiente construído. Para que se atinja este objetivo é necessário o uso correto da luz, através da otimização dos níveis de iluminação, do índice de reprodução de cor e da temperatura de cor da fonte de luz, das taxas de luminâncias e contrastes.

Em sua forma mais simples, um sistema de iluminação energeticamente eficiente pode ser obtido através da minimização de duas variáveis: o tempo de utilização e a potência instalada. O aproveitamento da iluminação natural através da utilização de sistemas de controle da iluminação artificial podem minimizar o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial. O mesmo se verifica com o uso de sensores de presença e temporizadores para áreas com ocupação intermitente. Na minimização do tempo de utilização do sistema de iluminação deve-se considerar também o usuário, pois este tem importância fundamental no processo podendo apagar ou não lâmpadas inutilmente acesas. A minimização da potência instalada é obtida através da utilização de componentes do sistema de iluminação artificial energeticamente eficientes como lâmpadas com alta eficiência luminosa, luminárias reflexivas e reatores com alto fator de potência, bem como a sua manutenção freqüente. Ambientes com superfícies mais claras (maiores refletâncias) e um projeto luminotécnico criterioso também contribuem para esta minimização.

Para sistemas existentes, os *retrofits* poderão ser economicamente vantajosos. A substituição de equipamentos ineficientes e a instalação de sistemas de controle de iluminação artificial através do uso de iluminação natural ou de sensores de presença são alternativas eficientes a serem consideradas nos sistemas existentes. A iluminância necessária para a realização da tarefa visual e o nível desejado de melhoria, bem como as metas de redução no consumo de eletricidade e nos custos, determinarão as medidas a serem adotadas no *retrofit* em sistemas de iluminação. Deve-se atentar, também, que ambientes com diferentes atividades visuais necessitam de iluminâncias diferenciadas e devem ser iluminados de acordo com esta necessidade. Valores médios de iluminância recomendada para atividades visuais específicas podem ser obtidos na *NB 57 - Iluminância de Interiores (ABNT, 1991)*. Além do que, alguns ambientes devem ser iluminados durante todo o tempo de utilização, enquanto outros necessitam de iluminação apenas em certos períodos do dia. Estes detalhes de ocupação devem ser conhecidos para que se possa, por ocasião do projeto luminotécnico ou da proposta de *retrofit*, adotar soluções que considerem tais peculiaridades e permitam uma utilização mais eficiente do sistema de iluminação artificial.

Segundo **CADDET (1995)**, a iluminação, de forma geral, é responsável por aproximadamente 30% do total de eletricidade para operar muitos edifícios comerciais, sendo que 2/3 aproximadamente poderia ser economizado com a utilização de sistemas eficientes de iluminação. Isto representa uma economia total de 20% no consumo de eletricidade do edifício.

ROMÉRO (1994) verificou que o sistema de iluminação da Universidade de São Paulo é responsável por 65,5% do consumo total do campus. Como o potencial para economia com iluminação neste caso é de 40%, poderia haver uma economia total no consumo de energia de 26%.

Segundo **THE EUROPEAN COMMISSION (1994)**, o consumo de iluminação em escolas condicionadas artificialmente na Europa varia de 10 a 15%. No entanto, nas escolas brasileiras, segundo **ABILUX (1995)**, a iluminação pode ser responsável por até 90% do consumo de eletricidade pois, geralmente, não são condicionadas artificialmente.

A iluminação, como visto, é um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica em edificações, principalmente naquelas não condicionadas artificialmente. Além do que, é, dentre os responsáveis pelo consumo do edifício, aquele item que permite maior facilidade de redução de consumo frente ao forte desenvolvimento tecnológico dos componentes de sistemas de iluminação verificados nos últimos anos. E permite, também, além da redução do consumo, a correção de eventuais falhas no sistema e nos níveis de iluminação. Desta forma, apresenta-se a seguir, os resultados obtidos para o estudo de *retrofit* no sistema de iluminação artificial da UFSC através da metodologia proposta por este autor em sua dissertação de mestrado (**GHISI, 1997**).

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial de conservação de energia elétrica no campus da UFSC através de um estudo de *retrofit* no atual sistema de iluminação.

RESULTADOS

OS USOS FINAIS

Em virtude das grandes dimensões do campus da UFSC (aproximadamente 130.000 m² de área construída), o estudo é realizado em dois blocos (blocos B e C) do Centro Tecnológico. Através do levantamento de campo realizado nos dois blocos e da extrapolação para o campus, verifica-se a estimativa de usos finais mostrada na figura 1. O uso final chamado *outros* engloba o consumo de todos os equipamentos do campus, tais como, retroprojetores, copiadoras, cafeteiras, máquinas de escrever elétricas, geladeiras etc.

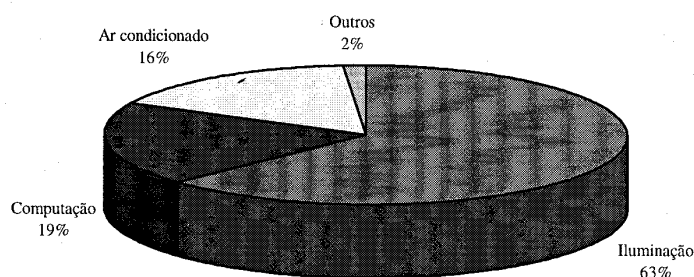


Figura 1. Usos finais de energia elétrica para o campus da UFSC.

O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Através da análise do projeto arquitetônico são definidas salas padrão em ambos os blocos para se determinar os níveis de iluminação artificial. No bloco B são escolhidas 4 salas de aula em função das diferentes dimensões encontradas e 1 sala padrão com microcomputadores do Laboratório Integrado de Informática do Centro Tecnológico (LIICT). Para o bloco C, verifica-se a representatividade, em função da área construída, para a principal atividade desenvolvida no bloco e define-se 1 sala padrão (sala de professores), além de 1 sala de aula.

Definidas as salas a estudar parte-se para a verificação dos níveis de iluminação nestes ambientes. As medições são realizadas através da utilização de luxímetros portáteis e durante a noite para evitar-se a influência da iluminação natural nos resultados. Os procedimentos adotados para as medições são aqueles indicados pela *NBR 5382 - Verificação de iluminância de interiores (ABNT, 1985)*, que apresenta a forma de determinação da iluminância média em superfícies de trabalho em interiores de áreas retangulares. Avalia-se também a eficiência luminosa do sistema de iluminação de forma global (e) através da relação entre a iluminância média do ambiente (E) e a potência instalada por unidade de área (P), ou seja, $e = E/P$.

Tabela 1. Iluminância média nas salas do bloco B.

Sala	Dimensões (m)	Potência P (W/m ²)	Iluminância média E (lux)	Eficiência do sistema ε (lm/W)
812	7,00 x 14,00	27,6	196	7,1
813	7,00 x 7,00	27,6	293	10,6
823	7,00 x 11,00	26,3	334	12,7
840	7,00 x 4,00	39,0	395	10,1
LIICT	7,00 x 7,00	27,6	406	14,7

Os níveis verificados nas salas de aula do bloco B mostram-se dentro das exigências da NB 57 que prescreve uma iluminância média de 300 lux. A exceção ocorre na sala 812 onde, das 32 lâmpadas de 65 W, 11 estavam queimadas na ocasião das medições. Nas salas 813 e 823 existia 1 lâmpada queimada; a sala 813 possui 16 lâmpadas de 65 W e a 823, 24 de 65 W. Apesar das iluminâncias mostrarem-se próximas dos limites exigidos pela NB 57, deve-se atentar que estes níveis poderiam ser melhorados se as luminárias não estivessem posicionadas entre vigas com 53 cm de altura e 110 cm de afastamento (figura 2).

Na sala 813 e na do LIICT, com mesmas dimensões e potência instalada, pode-se avaliar a influência da refletância das superfícies internas. Na sala do LIICT, onde as paredes são pintadas com cor branca e o teto é mantido em sua cor original (concreto aparente), a iluminância média é 39% superior àquela da sala 813. Outra comparação interessante pode ser realizada entre a sala 840 e a do LIICT. A 840 possui uma potência instalada 41% superior a do LIICT e sua iluminância é 3% inferior; assim, percebe-se novamente, a influência da refletância das superfícies internas.

No caso do bloco C, são realizadas medições, também à noite, em 6 salas de professores (salas 1 a 6 - com mesmas dimensões) e em 1 sala de aula (sala 7). Neste caso, a iluminância média é obtida através de medições feitas em uma malha de 8 pontos para as salas de professores (salas 1 a 6) e uma de 12 pontos para a sala de aula (sala 7). As iluminâncias médias finais para cada sala deste bloco são apresentadas na tabela 3. Neste bloco as vigas têm altura de 30 cm.

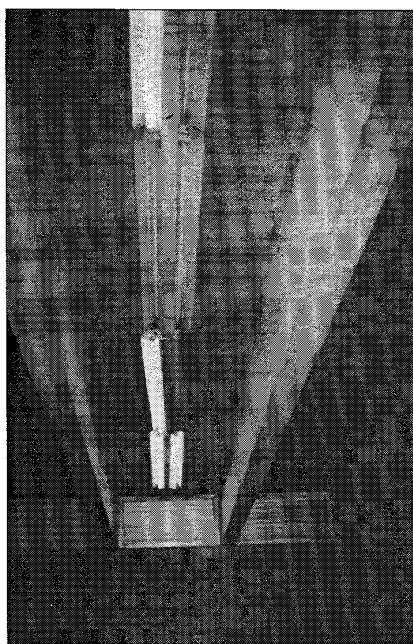


Figura 2. Detalhe das luminárias e vigas do bloco B.

Como algumas lousas das salas de aula do bloco B possuem iluminação localizada, são realizadas medições em lousas com e sem esta iluminação. A tabela 2 apresenta estes resultados através da média aritmética para os pontos localizados em mesma altura (são medidos 3 pontos para cada altura). Estas medições são realizadas em 2 lousas com iluminação localizada e em 4 lousas sem este tipo de iluminação.



Tabela 2. Iluminância nas lousas.

Posição na lousa	Iluminância (lux)	
	Sem iluminação localizada	Com iluminação localizada
À 20 cm do topo	43	1353
No meio	128	292
À 20 cm da base	239	284
Média	137	643

A iluminação localizada corresponde a uma linha de 6 luminárias dispostas no topo das lousas com 1 lâmpada de 40 W cada luminária. Como os níveis prescritos pela NB 57 correspondem a uma iluminância média de 500 lux, percebe-se que a iluminação localizada nas lousas atende esta exigência. Porém, deve-se atentar, que os refletores utilizados não são adequados pois estão proporcionando uma iluminância muito elevada no topo da lousa e muito baixa na sua base. Estes níveis também podem ser aumentados através do rebaixamento das luminárias do plano geral da sala.

Tabela 3. Iluminância média nas salas do bloco C.

Sala	Dimensões (m)	Potência	Iluminância média	Eficiência do sistema
		P (W/m ²)	E (lux)	ε (lm/W)
1	4,50 x 3,00	30,8	377	12,2
2	4,50 x 3,00	50,1	538	10,7
3	4,50 x 3,00	30,8	342	11,1
4	4,50 x 3,00	30,8	320	10,4
5	4,50 x 3,00	30,8	325	10,6
6	4,50 x 3,00	30,8	334	10,8
7	4,50 x 7,00	26,4	524	19,8

Nas salas do bloco C, onde esperava-se obter uma iluminância média de 500 lux, que é o que a NB 57 prescreve para escritórios, verifica-se uma iluminância média também próxima dos 300 lux. A exceção fica por conta da sala 2, com 538 lux, que apresenta 8 lâmpadas de 65 W; nas outras salas com iguais dimensões à 2 existem 8 lâmpadas de 40 W. Na sala 7, que corresponde a uma sala de aula do bloco C, existem 16 lâmpadas de 40 W.

Para os corredores de ambos os blocos, através de 10 pontos medidos verificou-se uma iluminância média de 46 lux, com um mínimo de 24 lux e um máximo de 66 lux. O recomendado pela NB 57 é 100 lux. Nestes espaços a potência instalada é de aproximadamente 6,2 W/m² e a eficiência do sistema é de 7,4 lm/W.

REFLETÂNCIA DAS SUPERFÍCIES INTERNAS

Através do método do papel branco, onde se admite que a cor branca tenha uma refletância de 90%, determina-se a luz refletida pela superfície natural e coberta pelo papel branco através do uso de um luxímetro portátil. A refletância da superfície é obtida através de uma relação entre a luz refletida e a refletância da superfície.

$$r_{sup} = 90 \cdot E_{sup} / E_{pb}$$

onde:

- r_{sup} é a refletância da superfície (%);
- E_{sup} é a iluminância da superfície (lux);
- E_{pb} é a iluminância da superfície com papel branco (lux).

São realizados 30 conjuntos de medições para cada superfície (parede, teto e piso) e 10 conjuntos para as lousas. No caso deste, são realizados apenas 10 conjuntos de medições por se tratar de uma superfície com refletância uniforme. No caso das outras superfícies são coletadas mais amostras porque apresentam maiores variações nas suas tonalidades de cor. Através de uma análise de valores espúreos obtém-se uma média aritmética representativa da refletância de cada superfície. A tabela 4 apresenta os resultados.

Tabela 4. Refletâncias médias estimadas.

Superfícies	Refletância média (%)
Teto (concreto - cor natural)	54
Parede (tijolo aparente - cor natural)	38
Piso (pintura clara)	59
Lousa (verde escura)	33

O PROJETO LUMINOTÉCNICO

A quantidade de luz desejada e necessária para qualquer instalação depende, em primeiro lugar, da tarefa a ser executada. O grau de habilidade requerida, a minuciosidade do detalhe a ser observado, a cor e a refletividade da tarefa, assim como os arredores imediatos, afetam as necessidades de iluminância, que produzirão as condições de visibilidade máxima. Os iluminamentos recomendados são baseados nas características das tarefas visuais e nos requerimentos de execução, sendo maiores para o trabalho envolvendo muitos detalhes, trabalhos precisos e trabalhos de baixos contrastes.

As tarefas visuais, apesar de serem em número ilimitado, podem ser classificadas de acordo com certas características comuns conforme a *NB 57 - Iluminância de interiores (ABNT, 1991)* que estabelece os valores de iluminâncias médias em serviço para iluminação artificial em interiores onde se realizam atividades específicas. Esta norma permite flexibilidade na determinação dos níveis de iluminância, sendo que 3 variáveis são consideradas:

- a) a idade do observador: pessoas mais velhas precisam de mais luz para desenvolver a mesma atividade que pessoas jovens;
- b) velocidade e acuracidade do desempenho visual: necessidades críticas exigem mais luz que as casuais, ou seja, quanto maior o grau de precisão requerido para executar a tarefa, maiores serão os níveis de iluminação exigidos;
- c) refletância da tarefa em relação ao fundo: grandes diferenças de refletâncias entre a tarefa e o seu entorno próximo podem reduzir o contraste e a performance visual e/ou causar desconforto visual.

Desta forma, deve-se utilizar corretamente a tabela 2 da NB 57 onde se estabelecem diferentes pesos para cada subdivisão destes três itens. Isto permite definir qual dos três valores de iluminância propostos pela NB 57 para cada atividade deverá ser utilizado. No caso das atividades desenvolvidas no campus, em que a refletância de fundo normalmente é superior a 30% e a precisão requerida para a realização da tarefa não é crítica, devem ser adotadas as iluminâncias médias ou mínimas (dificilmente as máximas).

Através da escolha de lâmpadas eficientes, luminárias reflexivas e reatores eletrônicos são elaboradas diferentes propostas de *retrofit*. A ferramenta de cálculo utilizada é o método dos lúmens, por ser um método bastante simples e de conhecimento geral.

A tabela 5 apresenta os resultados para as diferentes salas através da utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W (fluxo luminoso de 3050 lúmens e eficiência luminosa de 95 lm/W), luminárias diretas com refletor de alumínio reflexivo e reatores eletrônicos, além do rebaixamento das luminárias para o limite inferior das vigas e da pintura das paredes com cor branca. No caso dos corredores são utilizadas lâmpadas de 16 W com fluxo luminoso de 1200 lúmens (eficiência luminosa de 75 lm/W). O período de manutenção estabelecido é de 24 meses. Os cálculos são realizados para iluminâncias médias de 300 lux, tanto para as salas de aula quanto para as salas de professores. O que este trabalho sugere, neste segundo caso e em salas administrativas, é a adoção de iluminação localizada caso haja insatisfação do usuário. No caso dos corredores, a iluminância adotada é de 100 lux.

Tabela 5. Resultado do estudo de *retrofit* nas salas dos blocos B e C e corredores.

Sala	Nº de luminárias		Iluminância média E (lux)		Potência P (W/m ²)	Eficiência do sistema ε (lm/W)	
	calculado	necessário	novo	24 meses		novo	24 meses
812	8,31	9	406	325	5,9	69,1	55,3
813	4,52	6	498	398	7,8	63,5	50,8
823	6,53	8	459	367	6,6	69,1	55,3
840	2,77	3	406	325	6,9	59,2	47,4
LIICT	4,52	6	498	398	7,8	63,5	50,8
Professores*	1,48	2	508	406	9,5	53,5	42,8
Aula**	3,12	4	481	385	8,1	59,2	47,4
Corredores	1,05	1	119	95	3,2	37,1	29,7

* Corresponde às salas 1 a 6 da tabela 3

** Corresponde à sala 7 da tabela 3

No caso da sala LIICT, que já possui paredes brancas, os resultados mostrados equivalem à substituição dos equipamentos do sistema de iluminação e do rebaixamento das luminárias. Verifica-se, portanto, que no caso das salas de ambos os blocos, diminui-se a potência instalada em iluminação entre 69% (salas de professores e salas de aula do bloco C) e 82% (sala 840). A iluminância média pode ser aumentada em até 107% (sala 812) no início da operação do novo sistema. E a eficiência do sistema de iluminação pode ser aumentada entre 199% (salas de aula do bloco C) e 873% (sala 812).



AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Através de medições das condições de iluminação natural nas salas de aula do bloco B, através dos procedimentos descritos em **GHISI e PEREIRA (1996)**, percebe-se um potencial de conservação de energia elétrica de 7,5%. Este percentual pode ser obtido através da instalação de circuitos independentes que permitam manter as lâmpadas próximas das janelas apagadas nos períodos que a iluminação natural supre as necessidades de iluminância. Alerta-se que estes ambientes possuem proteções solares externas que impedem o melhor aproveitamento da iluminação natural.

O POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Através da análise realizada com a adoção de lâmpadas de 32 e 16 W, de luminárias diretas com refletor de alumínio reflexivo e reatores eletrônicos, além de pintura branca nas paredes e rebaixamento das luminárias, obtém-se uma redução no consumo de iluminação de 67%. Como este é responsável por 63% do consumo do campus, a economia total a ser alcançada é de 42%.

ANÁLISE ECONÔMICA

Em função da economia gerada pelo novo sistema e dos custos para sua implantação, verifica-se, através de métodos para análise de investimento, um período de retorno do investimento próximo de 5 anos. Porém, no caso de uma análise simples que considere apenas o custo inicial do projeto e a economia gerada, verifica-se um período de retorno de 3,5 anos. Deve-se alertar que estes cálculos são realizados para custo unitário de equipamentos, ou seja, no caso da aplicação do *retrofit*, os descontos normalmente fornecidos pelos fabricantes podem reduzir o período de retorno do investimento.

CONCLUSÕES

Como pôde-se perceber, o potencial de economia de energia verificado para o campus da UFSC alerta para a necessidade de estudos completos em qualquer análise de *retrofit* em sistemas de iluminação, através de projetos luminotécnicos criteriosos que considerem sobretudo a iluminância média necessária para as atividades em questão. Deve-se avaliar, também, as iluminâncias proporcionadas pelo atual sistema de iluminação, bem como estabelecer um período de manutenção para limpeza dos equipamentos de iluminação e garantir a sua aplicação. As refletâncias das superfícies internas também devem ser verificadas como forma de avaliar a possibilidade do seu aumento por ocasião da elaboração do projeto luminotécnico tornando o sistema mais eficiente. Um detalhe bastante importante e normalmente esquecido é a análise de luminâncias que, apesar de ausente neste trabalho, é apresentada na citada dissertação de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABILUX (1995). *Conservar energia significa mais verbas para educação e saúde*. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Jornal ABILUX, ano V, nº 55, p 3.
- ABNT (1985). *NBR 5382 - Verificação da iluminância de interiores*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 6 p.
- ABNT (1991). *NB 57 - Iluminância de interiores*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13 p.
- CADDET (1995). *Saving energy with efficient lighting in commercial buildings*. Maxi brochure 01. CADDET Energy Efficiency - Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. The Netherlands. 22 p.
- GHISI, E. (1997). *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 246 p.
- GHISI, E.; PEREIRA, F. O. R. (1996). *Iluminação natural: medição das condições internas*. Texto base para norma. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 16 p. (<http://www.npc.ufsc.br/~energia/normas/index.html>).
- ROMÉRO, M. A. (1994). *Método de avaliação do potencial de conservação de energia elétrica em campi universitários: o caso da cidade universitária Armando de Salles Oliveira*. Tese de Doutorado. Vol. I e II. FAUUSP. São Paulo.
- THE EUROPEAN COMMISSION (1994). *Daylighting in buildings*. The European Commission. Directorate - General for Energy (DGXVII). The THERMIE Programme Action. Dublin, 26 p.