

Estudo de eficiência energética em iluminação em salas de aula

Energy efficiency study in lighting in classrooms

Octavio Ferreira Loureiro de Almeida¹
Adriano Marinheiro Pompeu²
Andrea Teresa Riccio Barbosa³

¹ Arquiteto e Urbanista pela Universidade Estadual de Londrina, Pós-Graduado em Gerenciamento e Produção de Obras pela Universidade Anhanguera Uniderp e Mestrando em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela UFMS.
E-mail: octavio@octavioloureiro.com.br

² Engenheiro de Produção pelo Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande – Unidade II, Pós-Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera Uniderp e Mestrando em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela UFMS.
E-mail: adrianoifael@yahoo.com.br

³ Administradora, Engenheira Eletricista, Mestre em Engenharia Elétrica, Doutora em Engenharia Elétrica, Pós-Doutora e docente na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
E-mail: aricciobarbosa@yahoo.com.br

RESUMO

Na atualidade, cada vez mais se faz necessário o desenvolvimento de técnicas e métodos que priorizem ações e práticas sustentáveis. Tal fato se reflete devido à escassez de recursos naturais, ao aumento do consumo de energia pela utilização de novas tecnologias e ao acesso e baixo preço de novos equipamentos elétricos. Nesse contexto, insere-se a preocupação com a utilização consciente da energia elétrica e aproveitamento da iluminação natural. Metodologias existentes em diversos países podem ser avaliadas por certificações e normas, evidenciando que a eficiência energética pode ser obtida com a redução do consumo de energia por meio de equipamentos mais eficientes, análises mais detalhadas das instalações e com a mudança no comportamento das pessoas quanto à utilização da energia elétrica. Este trabalho descreve um estudo de Eficiência Energética (EE) realizado em iluminação artificial e natural de algumas salas de aula em um Instituto de Ensino Superior em Campo Grande, MS, descrevendo e discutindo a eficiência técnica através de índices luminotécnicos perante os órgãos competentes como: Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ABNT – NBR e ANVISA) simulando gastos monetários reais da iluminação das salas de aula. Como resultado, geraram-se diretrizes e análises para um projeto de EE com previsões de novos gastos com comparativos dos investimentos para atingir EE na iluminação.

PALAVRAS-CHAVE

eficiência energética
iluminação
cálculo luminotécnico

ABSTRACT

Nowadays, more and more it is necessary to the development of techniques and methods that prioritize actions and sustainable practices. This fact reflected due to the scarcity of natural resources, increased energy consumption by the use of new technologies and access and low price of new electrical equipment. In this context is part of the concern with the conscious use of electricity and use of natural lighting. Existing methodologies in different countries can be assessed by certifications and standards, showing that energy efficiency can be achieved by reducing energy consumption through more efficient equipment, more detailed analyzes of facilities and with the change in people's behavior as use of electricity. This paper describes a study of energy efficiency (EE) held in artificial and natural lighting some classrooms at a community college in Campo Grande, MS, describing and discussing the technical efficiency through calculation technical lighting rates before the competent bodies as: Brazilian Association of Technical Standards - Brazilian Standard and National Health Surveillance Agency (ABNT - NBR and ANVISA) simulating real monetary expenses of the lighting of the classrooms. As a result, it generated guidelines and analysis for an EE project with forecasts of new spending on comparative investment to achieve EE lighting.

KEY WORDS

*energy efficiency
lighting
calculation technical lighting*

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente, no Brasil, há uma crescente preocupação acerca dos problemas ambientais e obrigações legais relacionadas à Eficiência Energética (EE) e ao meio ambiente. Tais obrigações legais são regulamentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANELL), que tem o objetivo de proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade. Observa-se que o país passa por um período de aumento constante nas tarifas de energia, remetendo a ações que prezem pela redução de custos, a fim de minimizar as incertezas econômicas com enfoque na sustentabilidade.

A EE em ambientes de trabalho, portanto, torna-se essencial e se traduz pela redução de energia utilizada em um determinado ambiente, para a realização de um mesmo serviço. Alves (2009), ao explicar que a palavra “eficiência” se traduz por “uma força ou virtude de se produzir um efeito”, acaba por definir, também, como a forma mais competente e otimizada em se produzir energia.

Nesse sentido, ao adotar ações que proporcionem EE, pode-se obter economia com a implementação de planos eficientes em ambientes de trabalho. Tais planos podem alcançar resultados mais expressivos se adotados em locais que possuem diversos ambientes ou salas, tais como: escolas, faculdades, universidades ou qualquer instituição de ensino, principalmente em se tratando de estudos sobre a iluminação artificial e natural.

Com o intuito de contribuir com estudos em EE, o objetivo deste estudo foi desenvolver tais medidas em uma Instituição de Ensino Superior (IES) e fomentar atitudes nos alunos e colaboradores. A análise da EE está relacionada com a utilização de energia elétrica para iluminação em salas de aula. Para um melhor estudo da EE, foram obtidos seguintes dados:

- Análise do gasto energético da IES mensal, em mês cujos dias letivos estejam em uso;

- Análise da iluminação utilizada em sala, tanto a natural, quanto a artificial.

Além disso, para uma análise mais precisa e auxílio de obtenção dos dados, foram realizadas entrevistas com alunos, colaboradores e professores, com relação à utilização das salas de aula. Esses dados revelam, portanto, uma tentativa de revisar, de um modo mais eficiente, as infraestruturas de iluminação das salas de aula que estejam em uso, considerando as suas utilizações e depreciações.

A metodologia comportou fases de pesquisas sobre EE e levantamentos de dados, *in loco*, e o estudo de soluções possíveis para sua implementação. Diante dos diversos cenários analisados e em decorrência das deficiências observadas, procurou-se adequar à realidade as atividades realizadas nas salas de aula. Visou-se, portanto, a um conjunto de ações a ser proposto e, posteriormente, desenvolvido.

2 METODOLOGIA

A IES é uma instituição particular de ensino, com sete cursos de graduação, dois de categoria Tecnólogo e cinco de Bacharel, situada na cidade de Campo Grande, MS. Fisicamente a IES possui um prédio principal com dois blocos unidos, em formato de “T” contendo um deles quatro pavimentos, e o outro, cinco. Além desse prédio principal, há um segundo, com dois pavimentos, para práticas estudantis. A IES apresenta, no total, quarenta e três salas de aula, incluindo-se laboratórios, maquetaria e estúdios, onde aulas também podem ser ministradas.

O estudo realizado foi em um único bloco do conjunto de salas de aula desse prédio principal e que possui cinco pavimentos. No total, foi analisada a utilização de trinta e sete salas de aula. Esse bloco ainda apresenta corredores, sanitários, depósitos e um estúdio de gravação, que não fizeram parte do estudo proposto.

As trinta e sete salas de aula da pesquisa estão distribuídas em cinco pavimentos sendo dez no primeiro pavimento, oito no segundo e no terceiro, sete no quarto e no sexto, e seis no quinto. As salas de um mesmo pavimento estão dispostas em sentido único, uma de frente para outra, unidas por um corredor central (Figura 1 e Figura 2).

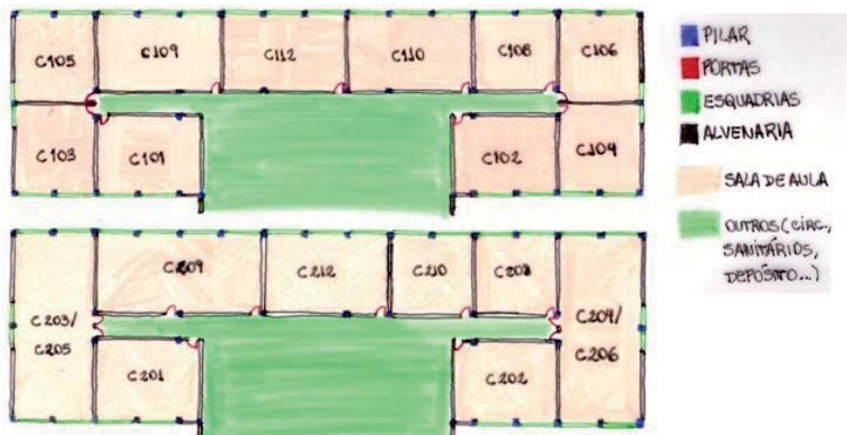


Figura 1 – Croqui do Bloco C da IES, 1º e 2º pavimentos e salas de aula

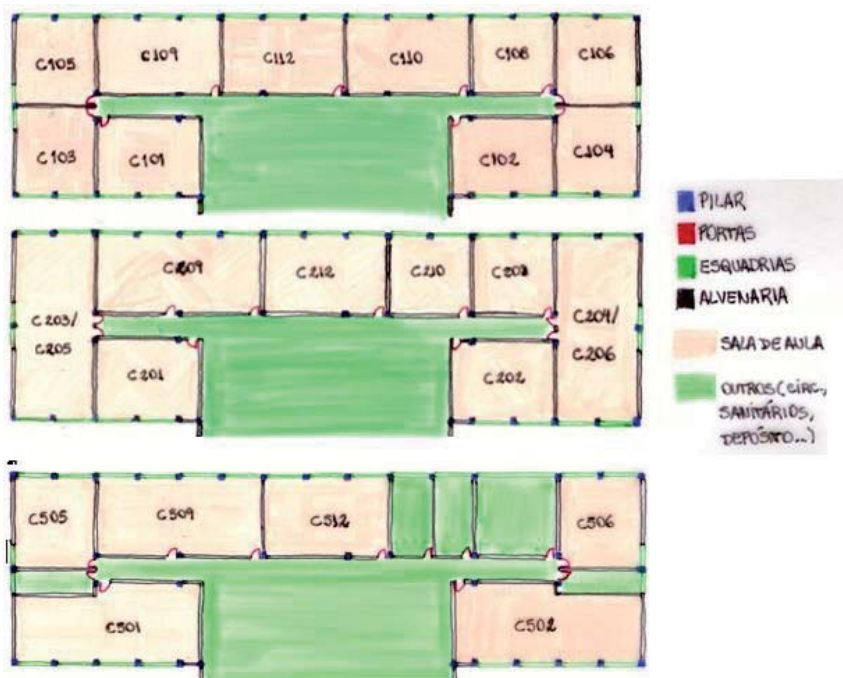


Figura 2 – Croqui do Bloco “C” da IES, 3º, 4º e 5º pavimentos e as salas de aula

O sistema estrutural é em concreto armado do tipo modulado, com as estruturas dispostas em simetria perante o bloco. As vedações são em alvenaria convencional, em tijolos de oito furos e rebocadas, totalizando uma espessura média de 15 cm. Os acabamentos são em textura de coloração média/escuro na parte exterior, emboçadas¹ e pintadas de látex cor bege na parte interior. Nota-se um barrado na parede interna, iniciando-se no piso com 120 cm de altura e acabamento em esmalte sintético brilhante, na mesma cor bege.

¹ Emboço é a primeira camada logo após o chapisco na alvenaria, normalmente constituído por argamassa de cimento e areia, ou de cal, servindo de base ao reboco.

O piso é cerâmico, em porcelanato esmaltado, na cor cinza claro. As esquadrias são em estrutura metálica e com vedações em vidro, do tipo de correr, pintadas com esmalte sintético na cor marrom conhaque. As salas também possuem esquadrias para a área do corredor. Entretanto são do tipo max-ar, baixas e com peitoril alto.

Algumas salas possuem película tipo *insufilm*, sendo algumas pouco eficientes, visto que, mesmo com as janelas fechadas, algumas salas não têm as luminárias acesas no período da manhã. As portas são metálicas, com bandeira, também pintadas em esmalte sintético na cor marrom conhaque (Figura 3).



Figura 3 – Interior de uma das salas de aula da IES

As salas no geral são consideradas iluminadas no período da manhã devido à quantidade de esquadrias (Figura 3). O teto possui rebaixo em poliestireno expandido (isopor), sem acabamento, fixadas com perfis metálicos, e pés direitos variando de 3,10 m e 3,13 m. Quanto à utilização, as aulas ocorrem de segunda a sexta-feira, no período matutino, das 7h30 às 12h00 com ocupação de 10% do total de salas. No período noturno, 100%

das salas são ocupadas, e as aulas iniciam-se às 19h, podendo terminar às 22h35.

Nos ambientes onde se realizaram as análises, os dados coletados são apresentados nas seções a seguir.

3 ILUMINAÇÃO

A iluminação natural é muito importante para se agregar luz no ambiente de estudo, pois:

[...] utilizar a iluminação natural é extremamente vantajoso: corresponde a um equilíbrio de iluminação com redução de encadeamento, restituição de cor adequada – em suma, um melhor conforto visual. Em termos de economia de energia é, ainda para mais, imbatível. (ALVES, 2009).

Na pesquisa, além da iluminação natural, a artificial também foi objeto de estudo nas salas. Foi analisada a eficiência luminosa em cada sala, conferindo a quantidade de luminárias e suas potências, assim como a intensidade de iluminância (em lux) tanto no período da manhã, quanto no período da noite, considerando todas as luzes acesas e as janelas com as cortinas abertas. Conforme Figura 1 e Figura 2, percebe-se que as salas possuem aberturas de janelas com os padrões de tamanho de 3,50 x 2,00 m (largura x altura), que podem ser consideradas de grande porte.

3.1 Tipo de iluminação

Verificou-se que a iluminação natural na maioria das salas é bem eficiente, pois algumas não utilizam luz artificial na parte da manhã. Observa-se ainda que algumas delas possuem película de *insulfilm* para proteção solar. Quanto à iluminação artificial, existe apenas um tipo de luminária: modelo de embutir, metálica, branca (sem superfície refletora) e sem aletas de distribuição de luz, conforme Figura 4.

Cada uma contém um par de lâmpadas fluorescentes tubulares, modelo T10 L40, de 40 W cada, totalizando 80 W. Para efeito de cálculo de potência, Frota e Schiffer (2003) informam que, para lâmpadas frias, são acrescidos 25% para o cálculo total da potência consumida, devido a seu reator. Portanto pode-se considerar que cada luminária consome 100 W.



Figura 4 – Detalhe da luminária nas salas de aula

O comando da iluminação é manual, por interruptor simples. As lâmpadas são acesas e apagadas conforme necessidade, tanto por alunos, professores ou equipe de limpeza e manutenção. Entretanto notou-se por diversas vezes que, mesmo estando as salas de aula vazias, muitas ficam com as luzes acesas. Quanto às luminárias, estas se encontram ultrapassadas em termos tecnológicos e com sinais de sujeira. Notou-se que não existe um plano de limpeza e manutenção preventiva das fontes.

3.2 Níveis de iluminância

Para um projeto luminotécnico ser eficiente, Innes (2012) afirma que este deve ser elaborado tendo-se em mente sua

utilização pelos usuários finais e ser relativamente econômica. Para tanto, ainda descreve que é necessário saber qual o nível de iluminação que seria eficiente no determinado espaço. No Brasil, a NBR 8995 (2013) informa que, em salas de aula com arranjos flexíveis das mesas, devem ser na ordem de 300 lux² na parte da manhã, 500 lux para aulas noturnas, e em se tratando de trabalhos específicos, como aulas de desenho técnico, 750 lux.

Para a verificação do nível de iluminação, foram realizadas medições nas salas, nos períodos matutino e noturno, com o auxílio de um luxímetro modelo LX-101, marca Lutron, calibração de fábrica. Para isso, definiram-se como parâmetro de medição os quatro pontos extremos das salas, recuando-se da parede 50 cm, na altura das mesas de trabalho e mais uma medição no centro da sala. As medidas foram obtidas no período da manhã, nos dias 12 e 13 de maio de 2015, das 9h00 até as 10h00 no período matutino e no período noturno, durante as aulas (Figura 5).

²“Lux (lx) é a unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) utilizada para medir a iluminância de uma superfície, ou seja, a quantidade de luz que nela incide. O lux não é uma medida da luminância de uma superfície, isto é, ele não representa quanta luz que a superfície emite, e sim a medida de iluminância na superfície. O lux mede a intensidade do fluxo luminoso em uma área de um metro quadrado. Assim, 1 lux = 1 lúmen por metro quadrado” (INNÉS, 2012, p. 25).

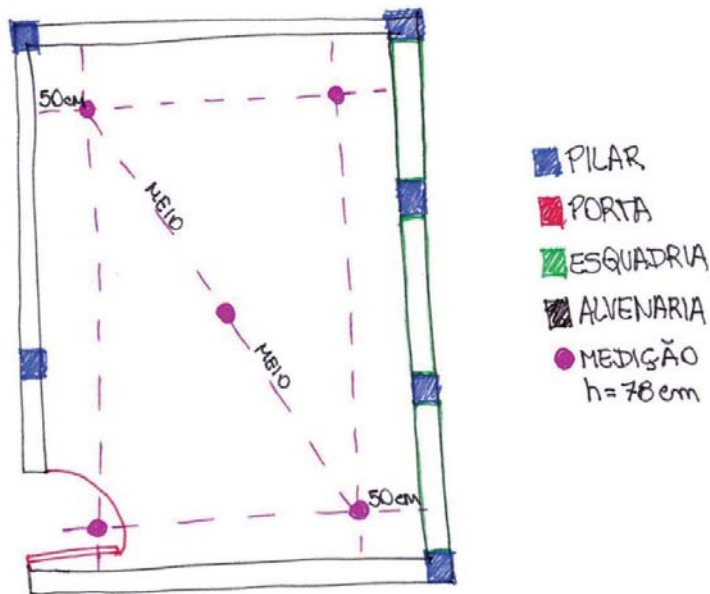


Figura 5 – Croqui demonstrando os pontos de marcação dos níveis de iluminação

3.3 Consumo Energético da iluminação artificial

Na medição do consumo energético para a iluminação artificial das salas, foram considerados dois critérios com relação ao tempo de utilização das luminárias:

- No período matutino, 10% das salas são utilizadas, durante duas horas diárias, em vinte e três dias.
- No período noturno, com a utilização de 80% das salas, durante um período de cinco horas diárias, em vinte e três dias.

Conforme já mencionado, nas aulas das manhãs nem todas as luminárias são acesas, por isso utilizou-se um período menor de hora/dia de uso delas. Já à noite, mesmo com 100% de ocupação, algumas aulas necessitam das luzes apagadas para auxílio

didático-visual de equipamentos de projeção, ou algumas aulas são ministradas fora da instituição (como visitas técnicas, por exemplo), por isso considerou-se a utilização de 80% das salas.

Ainda no período noturno, as lâmpadas são acesas antes das aulas se iniciarem e, muitas vezes, não são apagadas pelos usuários no final destas, ficando a cargo dos colaboradores. Já para o período de vinte e três dias por mês levou-se em consideração um mês de trinta dias, descontados 7 dias (sábados e domingos, isto é, dias não letivos).

Os levantamentos obtidos configuraram-se em um consumo total de 4.627,14 kW/mês, o que equivale, para o mês de março, um valor total de R\$ 1.619,49 somente com a utilização das luminárias em sala de aula. Para o cálculo desse valor, foi obtido na IES a fatura de energia, cuja tarifa média de consumo para o mês de março de 2015 foi de R\$ 0,35 por kW/h, já inclusas as taxas e impostos.

Como pode ser observado na Tabela 1, apresentam-se a quantidade de luminárias e suas potências em W por sala, incluindo-se as variações de intensidade luminosa medidas em lx, tanto no período da manhã, como da noite. Finaliza com a quantidade de kW por sala no período de um mês, também nos dois períodos.

Tabela 1 – Salas de aula e dados coletados

sala de aula	largura máxima (m)	comprimento máximo (m)	pé direito (m)	volume (m ³)	var. lux (lux) (menor-maior)		quantidade luminárias	Watts	Total W	kW/mês	
					Manhã	Noite				Manhã	Noite
C 101 (maquetaria)	7,70	9,70	3,10	231,54	256-640	152-257	9	100	900	4,14	82,80
C 102	7,70	9,70	3,10	231,54	326-539	154-260	9	100	900	4,14	82,80
C 103	7,70	9,70	3,10	231,54	305-840	155-259	9	100	900	4,14	82,80
C 104	7,70	9,70	3,10	231,54	320-680	152-260	9	100	900	4,14	82,80
C 105	7,70	9,70	3,10	231,54	213-385	149-257	9	100	900	4,14	82,80
C 106	7,70	7,50	3,10	179,03	491-980	217-239	9	100	900	4,14	82,80
C 108	7,70	11,40	3,10	272,12	182-364	141-237	9	100	900	4,14	82,80
C 109	7,70	11,40	3,10	272,12	294-456	139-244	15	100	1.500	6,90	138,00
C 110	7,70	12,00	3,10	286,44	126-280	134-259	12	100	1.200	5,52	110,40
C 112	7,70	9,70	3,10	231,54	242-436	149-263	12	100	1.200	5,52	110,40
C 201	7,70	9,70	3,10	231,54	256-640	156-283	9	100	900	4,14	82,80
C 202	7,70	9,70	3,10	231,54	326-539	122-277	9	100	900	4,14	82,80
C 203/205	7,70	19,40	3,10	463,08	256-973	199-220	18	100	1.800	8,28	165,60
C 204/206	7,70	19,40	3,10	463,08	183-335	171-216	18	100	1.800	8,28	165,60
C 208	7,70	8,70	3,10	207,67	182-364	145-176	9	100	900	4,14	82,80
C 209 (lab. idiomas)	7,70	17,40	3,10	415,34	448-668	150-173	18	100	1.800	8,28	165,60
C 210	7,70	8,70	3,10	207,67	217-424	144-178	9	100	900	4,14	82,80
C 212	7,70	12,00	3,10	286,44	460-936	153-267	12	100	1.200	5,52	110,40
C 301	7,70	9,70	3,13	233,78	256-640	157-196	9	100	900	4,14	82,80
C 302	7,70	9,70	3,13	233,78	236-539	158-195	9	100	900	4,14	82,80
C 303/305	7,70	19,40	3,13	467,56	256-973	196-210	18	100	1.800	8,28	165,60

sala de aula	largura máxima (m)	comprimento máximo (m)	pé direito (m)	volume (m ³)	var. lux (lux) (menor-maior)		quantidade luminárias	Watts	Total W	kW/mês	
					Manhã	Noite				Manhã	Noite
C 304/306	7,70	19,40	3,13	467,56	183-335	199-218	18	100	1.800	8,28	165,60
C 308	7,70	7,50	3,13	180,76	182-364	216-238	9	100	900	4,14	82,80
C 309	7,70	11,40	3,13	274,75	294-456	140-235	12	100	1.200	5,52	110,40
C 310	7,70	11,40	3,13	274,75	126-280	139-233	12	100	1.200	5,52	110,40
C 312	7,70	12,00	3,13	289,21	242-436	132-257	15	100	1.500	6,90	138,00
C 401	7,70	17,40	3,10	415,34	478-760	153-170	15	100	1.500	6,90	138,00
C 402	7,70	17,40	3,10	415,34	284-958	145-170	15	100	1.500	6,90	138,00
C 405	7,70	8,70	3,10	207,67	213-385	147-177	9	100	900	4,14	82,80
C 406	7,70	8,70	3,10	207,67	491-980	148-175	9	100	900	4,14	82,80
C 408	7,70	12,00	3,10	286,44	390-540	181-297	24	100	2.400	11,04	220,80
C 409	7,70	12,00	3,10	286,44	448-668	180-296	24	100	2.400	11,04	220,80
C 412	7,70	12,00	3,10	286,44	285-506	139-233	12	100	1.200	5,52	110,40
C 501	7,70	17,40	3,23	432,76	478-760	152-257	13	100	1.300	5,98	119,60
C 502	7,70	17,40	3,23	432,76	284-958	142-163	13	100	1.300	5,98	119,60
C 505	7,70	8,70	3,23	216,38	213-385	164-171	6	100	600	2,76	55,20
C 506 (lab. agência)	7,70	7,50	3,23	186,53	491-980	147-167	9	100	900	4,14	82,80
C 509	7,70	17,40	3,23	432,76	448-668	181-297	12	100	1.200	5,52	110,40
C 512	7,70	12,00	3,23	298,45	285-506		12	100	1.200	5,52	110,40
TOTAL										220,34	4.406,80
											4.627,14

5 RESULTADOS

As luminárias não possuem plano anual de limpeza e manutenção. Esse efeito, conforme afirma Haddad et al. (2006), diminuiu-lhes a eficiência. Ainda assim, hoje no mercado existem novos modelos de lâmpadas mais eficientes, como as de LED, que se adaptam às luminárias de lâmpadas fluorescentes,

Para uma luminária equivalente às das salas de aula (duas lâmpadas fluorescentes tubulares do tipo T10 L40, com total de gasto energético de 100 W), existe uma lâmpada de LED similar em termos de iluminação, com 18 W cada, com total de 36 W por luminária, pois, nesse tipo de lâmpada, não é necessária utilização de reator.

Observou-se que não existem dados concretos quanto ao tempo de acionamento das luminárias tanto no período matutino, quanto no noturno. Isto ocorre porque há diversas variáveis a serem consideradas tais como o término antecipado de aula, a necessidade de se desligar as luminárias para uso do data show, a alta incidência da luz natural nas aulas matutinas, entre outros.

Entretanto, se houvesse apenas a troca das luminárias existentes por novas, de 18 W (equivalente à lâmpada fluorescente tubular do tipo T10 L40), haveria uma economia de 64%, isto é, R\$ 1.036,47, para o mês de março de 2015,

Comparando-se os dados obtidos por medição e os parâmetros definidos pela NBR 8995 (2013), verificou-se que a iluminação encontra-se satisfatória no período matutino, pois as salas de aula possuem relativa intensidade de luz, oscilando entre 285 a 776 lx, em alguns horários com picos maiores, e em outros, menores, que podem ser observadas na Tabela 1.

Essas pequenas diferenças ocorreram pela qualidade de retenção de intensidade de iluminação natural pelas películas de *insufilm* (para valores mais baixos) ou pela proximidade da janela

e sua incidência solar (para valores maiores). Para esses casos, não seria necessário o aumento de intensidade de iluminação.

Já no período noturno, a intensidade de luz apresentou valores menores do que os recomendados pela NBR 8995 (2013), conforme citado no item 3.2, que determina valores em torno de 750 lux. Pela Tabela 1, pode-se observar que os valores oscilaram entre 139 a 297 lx, comprovando a ineficiência do projeto luminotécnico.

Como análise, consideram-se:

- A troca das lâmpadas existentes pelos modelos em LED, mais eficientes;
- A criação de um plano de limpeza e manutenção anual para as luminárias;
- A criação de um plano de educação para os usuários finais, demonstrando a EE obtida em se desligar a luminária ao sair das salas;
- A remoção das películas de *insufilm* de todas as esquadrias e a implementação de cortinas tipo persianas com alto grau de retenção solar. Assim, com controle manual pelos usuários, obtém-se maior ou menor intensidade luminosa no ambiente para os períodos da manhã, conforme necessidade da aula;
- Criação de um plano para projeto luminotécnico para as salas, com a utilização de lâmpadas em LED de 18 W. Com isso, a intensidade de luz noturna ficaria dentro de valores preconizados pela NBR 8995 (2013), os sombreamentos nos planos de trabalho e a diferença entre intensidade luminosa de cada sala diminuiriam.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se traz à tona questões em EE, primeiramente se pensa em gastos financeiros. Por um lado o fato é verdade, pois equipamentos mais eficientes com uma tecnologia mais atual

estão entrando no mercado, e a troca de modelos antigos por estes traz certo gasto econômico. Entretanto, na EE, a compra desses materiais não deve ser o único e exclusivo parâmetro a ser considerado: a educação ambiental também é fato importante para tal feito. Entretanto, como descrito, as luminárias não eram apagadas quando os usuários saíam das salas e, ao se realizar um trabalho de educação ambiental, com foco principal na iluminação, agrega-se à IES dupla finalidade: economiza-se na instituição e, em se tratando de educação, aumenta a consciência ambiental nos alunos. Nota-se que esses possíveis formadores de opinião podem repassá-la adiante, tais como a pais, filhos ou vizinhos, o que não deixa de ser um dos papéis de uma instituição educadora.

É fato que as universidades que estão adotando o uso de tecnologia para minimizar o uso de energia elétrica muitas vezes reconhecem os benefícios e a economia. Portanto faz-se essencial que a IES estude a viabilidade econômica, realizando os projetos e orçamentos das considerações feitas, para se obter considerável ganho energético e financeiro a curto ou médio prazo.

A fim de obter a redução dos custos de energia elétrica referentes ao consumo com a iluminação das salas de aula, propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares do tipo T10 40W por lâmpadas LED T8 16W. Nesse caso, é apresentada a Tabela 2 com o valor do investimento em lâmpadas LED e o r da mão de obra para substituição, uma vez que é necessário retirar os reatores 2x40 das luminárias para a ligação direta com o soquete para a instalação das lâmpadas LED.

Tabela 2 – Investimento em lâmpadas LED

	Custo unit.	Qtde.	Total
Investimento	R\$ 49,00	479	R\$ 46.942,00
Mão de obra	R\$ 25,00	479	R\$ 11.975,00
Total geral			R\$ 58.917,00

Após apresentado o investimento proposto para as substituições, na Tabela 3 é mostrado um comparativo de gasto energético e tarifa mensal das duas luminárias.

Tabela 3 – Comparativo gasto energético e tarifa mensal

	Consumo (W)	Tarifa	Qtde. Luminárias	KW/Mês	Total Mensal
Luminária com duas lâmpadas fluorescentes	100	0,35	479	4627,14	R\$ 1.619,50
Luminária com duas lâmpadas LED	32	0,35	479	1480,68	R\$ 518,24
Economia mensal					R\$ 1.101,26

Partindo do pressuposto de que o investimento é de R\$ 58.917,00 e que geraria uma economia de R\$ 1.101,26 por mês na conta de energia elétrica, ao efetuar um cálculo de *payback* (Tabela 4), verifica-se quanto tempo demoraria para retornar o investimento na iluminação das salas de aula.

Tabela 4 – Cálculo de *Payback* Simples

Ano	Investimento	Economia anual	% ano	% total anos
0	R\$ 58.917,00			
1		R\$ 13.215,12	22,43%	22,43%
2		R\$ 13.215,12	22,43%	44,86%
3		R\$ 13.215,12	22,43%	67,29%
4		R\$ 13.215,12	22,43%	89,72%
5		R\$ 13.215,12	22,43%	112,15%
6		R\$ 13.215,12	22,43%	134,58%
7		R\$ 13.215,12	22,43%	157,01%
8		R\$ 13.215,12	22,43%	179,44%

Mais precisamente, pode-se dizer que o investimento efetuado em lâmpadas mais eficientes será recuperado em quatro anos e seis meses.

Tabela 5 – Taxa Mínima de Atratividade, Taxa Interna de Retorno e Valor Presente Líquido

TMA	10%
TIR	15%
VPL	R\$ 11.584,69

Para efeito comparativo de durabilidade, a Tabela 6 apresenta a vida útil e as respectivas expectativas dos dois modelos de lâmpadas.

Tabela 6 – Vida útil e expectativa

Modelo	Vida útil	Horas/dia	Dias/mês	Expectativa de vida útil em anos
Lâmpadas fluorescentes	8.000 horas	7	23	4,14
Lâmpadas LED	15.000 horas	7	23	7,76

Levando em consideração que a durabilidade das lâmpadas fluorescentes é de oito mil horas ou vida útil de quatro anos, e das lâmpadas LED de quinze mil horas ou vida útil de vinte e cinco anos, pode-se afirmar que as lâmpadas LED possuem quase o dobro da vida útil que as fluorescentes, o que ocasionaria maiores custos relacionados a trocas e manutenção das lâmpadas fluorescentes, evidenciando a vantagem e a economia da substituição por lâmpadas mais eficientes, neste caso as de modelo LED.

REFERÊNCIAS

ALVES, Cláudio Filipe V. *Plano de eficiência energética numa unidade industrial*. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major de Energia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO/CIE 8995-2013*. Iluminação de ambientes de trabalho. p. 46, parte 1: interior, Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução RE nº 09 de 16 de janeiro de 2003*. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 20 de janeiro de 2003.

FROTA, Anésia, SCHIFFER, Sueli R. *Manual de conforto térmico*, São Paulo, SP: Nobel, 2003, 243 p.

HADDAD, Jamil; MARQUES, Milton C, S; MARTINS, André R, S. *Conservação de energia, Eficiência energética de equipamentos e instalações*. Ministério de Minas e Energia. 3. ed. Fupai, Itajubá, MG: 2006, 589 p.

INNES, Malcolm; Tradução Alexandre Salvaterra. *Iluminação no design de interiores*. 1. ed. São Paulo, SP: Gustavo Gilli, 2012, 192 p.