



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DE SALAS DE AULA

Tiago A. Longo (1); EneDir Ghisi (2); Leonardo B. Andrade (3)

(1) Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) - e-mail: tiago-arent@hotmail.com

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - e-mail: enedir@labeee.com.br

(3) Departamento de Engenharia Rural – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – e-mail: leodebrito@cca.ufsc.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de redução do consumo de energia elétrica para os sistemas de iluminação artificial de salas de aula da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). O campus possui uma área construída superior a 41.238,23 m² e um consumo médio de energia elétrica de 2,3 GWh/ano. Na primeira etapa do trabalho foi realizada uma caracterização dos sistemas de iluminação artificial e dos ambientes, identificando os pontos onde ocorre desperdício de energia elétrica. Na segunda etapa foram verificados os níveis de iluminância, seguindo o método preconizado na norma NBR 5382/1985 e ainda pelo método das malhas. Posteriormente foram feitas simulações computacionais com o uso do software SoftLux 2.2. Os sistemas de iluminação são compostos por lâmpadas de 32 W, luminárias em pintura epóxi sem refletores e reatores eletromagnéticos de partida rápida. Verificou-se, por meio de simulações computacionais, que a redução da potência instalada e utilização de lâmpadas mais eficientes, aliadas ao uso de luminárias com refletores de alto brilho e reatores eletrônicos, contribuem para uma redução média de 44% no consumo de energia elétrica para o sistema de iluminação artificial das salas de aula.

Palavras-chave: eficiência energética; iluminação artificial; iluminância.

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the potential for energy savings by improving the energy efficiency of artificial lighting systems in classrooms at the *Universidade do Extremo Sul Catarinense* (UNESC). The campus has a built area of 41.238.23m² and an average electricity consumption of 2.3 GWh per year. In the first stage of this work, a characterization of artificial lighting systems, identifying the location where electricity waste occurs, was carried out. In the second stage, levels of illumination were measured by using a method described in the Brazilian Standard NBR 5382/1985 and also by an alternative method. Subsequent computer simulations were performed using the SoftLux 2.2 computer programme. Actual lighting systems are composed of 32W lamps, luminaires with epoxy paint without reflectors, and electromagnetic ballasts. It was found through computer simulations that the reduction of installed power and use of more efficient light bulbs, combined with the use of luminaires with high-reflectance surfaces and electronic ballasts, contribute to an average reduction of 44% on the electricity consumption for artificial lighting in classrooms.

Key-words: efficient energetic; lighting; illuminance

1. INTRODUÇÃO

Segundo Pérez-lombard, Ortiz e Pout (2008) o uso crescente de energia no mundo elevou as preocupações a respeito das dificuldades de abastecimento, esgotamento de recursos energéticos e impactos ambientais (diminuição da camada de ozônio, aquecimento global, alterações climáticas, etc.) A Agência Internacional de Energia reuniu dados sobre as tendências de consumo de energia. Durante as últimas duas décadas (1984-2004) o uso de energia primária aumentou 49% e as emissões de CO₂ 43%, com um aumento médio anual de 2% e 1,8% respectivamente.

Para Ghisi e Tinker (2006) a redução do consumo de energia nos edifícios, não só conduz a economias financeiras e de demanda por eletricidade, mas também geram benefícios ambientais. A geração de energia elétrica envolvendo a queima de combustíveis está associada à produção e emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases na atmosfera, que por sua vez causam poluição ambiental e o aquecimento global devido ao efeito estufa.

Tupiassú e Pinho (2006) em sua pesquisa dizem que a utilização de energia elétrica tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Entre 1973 e 2000 a participação da eletricidade em usos finais de energia, passou de 9,6% para 15,0% a nível mundial. Os mesmos autores dizem que em 2002 o Brasil possuía uma participação de 15,8% da energia secundária, e ainda, no setor público 76% da energia consumida era em eletricidade.

O consumo de energia no setor da construção é significativo e representa cerca de 40% do total de energia primária utilizada na União Européia. Além disso, o uso excessivo de energia elétrica devido à baixa eficiência de ar-condicionado e sistema de iluminação artificial agrava o problema energético e aumenta a poluição ambiental. Edifícios mais antigos apresentam os problemas mais graves de excesso de consumo de energia elétrica e necessitam de eficazes modificações (SANTAMOURIS, 1996).

Saidel (2000 apud COSTA, 2007) afirma que a eficiência energética configura-se como um dos mais importantes elementos para a conservação de energia, constituindo-se numa variável resultante da interação entre fatores econômicos, políticos e sociais. Neste contexto, é influenciada diretamente por mudanças estruturais na economia caracterizadas por alterações nos padrões tecnológicos e no consumo energético do sistema produtivo como um todo.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de redução do consumo de energia elétrica para os sistemas de iluminação artificial de salas de aula da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

3. MÉTODO

Esse trabalho avalia o potencial de redução do consumo de energia elétrica em salas de aula de uma edificação utilizada para fins educacionais. Esta análise foi realizada em quatro etapas principais: levantamento dos níveis de iluminância do sistema de iluminação artificial; projeto de um sistema de iluminação artificial mais eficiente; cálculo do potencial de economia; e, análise da viabilidade econômica.

3.1. Estudo de caso

A Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, localizada na cidade de Criciúma/SC, atualmente possui uma área superior a 41.238,23 m². No campus há edificações de diversas idades, sendo que as estudadas nesta pesquisa estão indicadas dentro dos quadrados vermelhos da Figura 1.

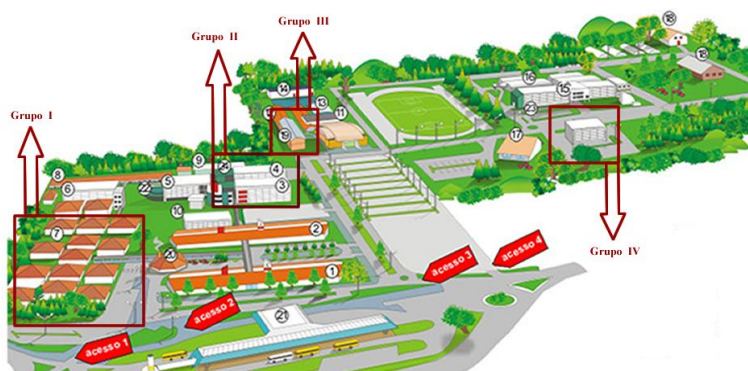


Figura 1 - Mapa do campus da UNESC com as edificações analisadas indicadas dentro dos quadrados

O grupo I engloba 12 construções mais antigas, com 40 anos de uso; o grupo II possui duas construções com 15 anos; o grupo III apresenta um edifício com 10 anos e o grupo IV possui uma edificação mais atual com menos de 10 anos de utilização. O entorno das edificações analisadas neste estudo é altamente denso, possuindo árvores altas e edificações muito próximas, o que prejudica a utilização da iluminação natural. Dessa forma, estudo busca propor um sistema de iluminação artificial mais eficiente e que proporcione melhor distribuição dos níveis de iluminância nos ambientes.

O campus possui um total de 152 salas de aula, das quais 88 utilizam luminárias que operam com quatro lâmpadas. A justificativa deste estudo está baseada no uso destes equipamentos (Figura 2), pois se utiliza uma alta densidade de potência e, além disso, a distribuição de iluminância é desuniforme, ou seja, concentra-se na região abaixo das luminárias enquanto que em algumas regiões da sala a iluminância é baixa. A utilização de lâmpadas mais eficientes, assim como luminárias e reatores e uma melhor distribuição dos equipamentos de iluminação no ambiente proporciona menor consumo de energia e melhor distribuição dos fluxos luminosos.



Figura 2 - Distribuição das luminárias nas salas de aula (a) luminária mais utilizada no campus (b)

O Gráfico 1 demonstra o consumo mensal de energia elétrica da UNESC para o período de janeiro/2007 a julho/2009, de onde se obtém uma média mensal de 211.7 MWh.

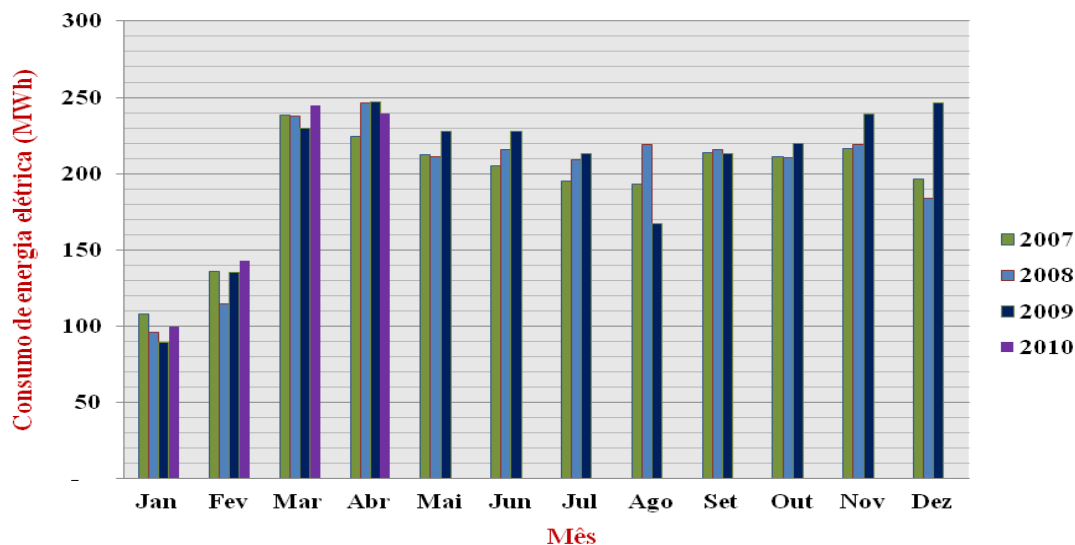


Gráfico 1 - Consumo mensal de energia elétrica da UNESC no período janeiro/2007 a abril/2010

3.2. Determinação do uso final do sistema de iluminação artificial das salas de aula

Primeiramente, obtém-se o consumo de eletricidade do campus através das contas de energia elétrica fornecidas pelo departamento financeiro da instituição, em seguida através de um levantamento *in loco* define-se a potência instalada (lâmpadas + reatores) para cada sala de aula e o regime de utilização. Através da Equação 1 encontra-se o consumo mensal de energia elétrica individual de cada sala de aula.

$$Cms = \frac{P \cdot h \cdot d}{1.000}$$

Equação 1

Cms é o consumo mensal (kWh);

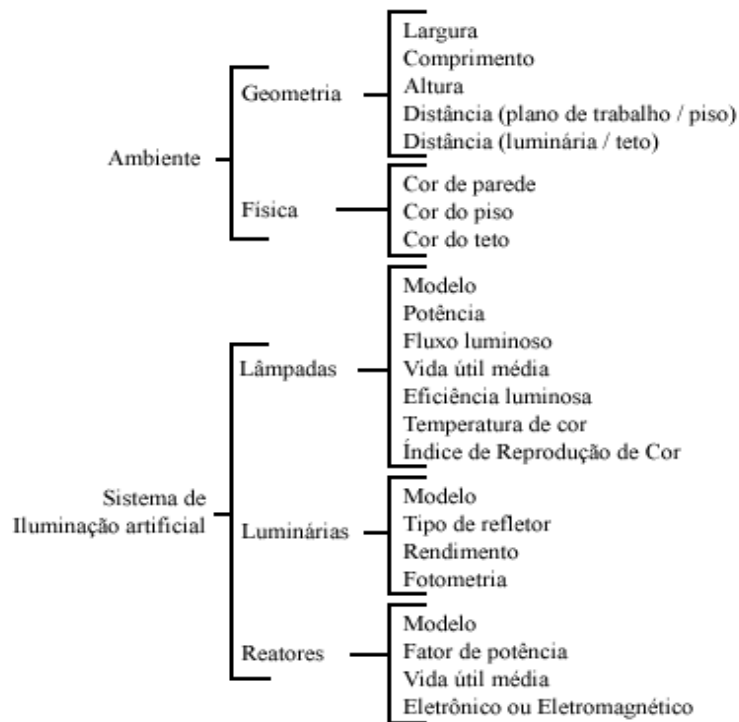
P é a potência total instalada (W);

h é o número de horas diárias de utilização do sistema de iluminação (h);

d é o número de dias de utilização do sistema de iluminação em um mês (adimensional).

3.3. Caracterização dos ambientes e sistema de iluminação artificial

Esta etapa baseou-se na coleta de dados referentes às características dos ambientes e do sistema de iluminação artificial, onde as variáveis descritas na Figura 3 foram utilizadas como dados de entrada na terceira etapa que será constituída de simulações computacionais.



Figuras 3 - Variáveis do ambiente e do sistema de iluminação artificial

Primeiramente, utilizando uma trena se obteve as dimensões do ambiente (caracterização geométrica), em seguida foram verificadas visualmente as cores das superfícies (caracterização física). As refletâncias das superfícies não são mensuradas pelo fato do software utilizado no item 3.5 disponibilizar de um elemento que classifica o ambiente em claro, médio ou escuro, considerando que o ambiente possui cores brancas em todas as superfícies, o ambiente é classificado como claro. Em relação ao sistema de iluminação artificial, visualmente identificou-se nas lâmpadas qual o modelo e potência, e em seguida por meio de catálogos dos fabricantes foram extraídos dados como, fluxo luminoso, vida útil média, eficiência luminosa, temperatura de cor e índice de reprodução de cor. O mesmo procedimento é análogo para as luminárias e reatores.

3.4. Levantamento do sistema atual

As medições foram feitas utilizando-se um luxímetro digital portátil MINIPA MLM-1011, no período noturno e sem haver influência da luz natural. A avaliação foi feita através de dois métodos: método da NBR 5382 (ABNT, 1985) e método das malhas (GHISI, 1997). Em ambos os procedimentos o luxímetro é posicionado sobre as superfícies de trabalho (0,75m de distância do piso), as cortinas de cores creme claro foram fechadas no momento da avaliação e os ambientes estavam desocupados. Utilizou-se neste estudo 17 salas de aula, que representam adequadamente todas as diferenças existentes entre os ambientes em relação às variáveis descritas no item 3.3. Por não conter iluminação localizada nos quadros negros dos ambientes estudados, este item não é considerado neste estudo.

3.4.1. Método preconizado na NBR5382/1985

A norma NBR 5382 indica este método para áreas regulares com duas ou mais linhas contínuas de luminárias. São obtidas oito leituras no ambiente conforme demonstrado na Figura 4. Os valores coletados são utilizados na Equação 2 para se encontrar a iluminância média no ambiente.

$$E = \frac{R(N-1)(M-1) + Q(N-1) + T(M-1) + P}{N.M} \quad \text{Equação 2}$$

- N é o número de luminárias por fila (adimensional);
- M é o número de filas (adimensional);
- P é a média aritmética entre P1 e P2 (lux);
- Q é a média aritmética entre Q1 e Q2 (lux);
- R é a média aritmética entre R1, R2, R3 e R4 (lux);
- T é a média aritmética entre T1, T2, T3 e T4 (lux).

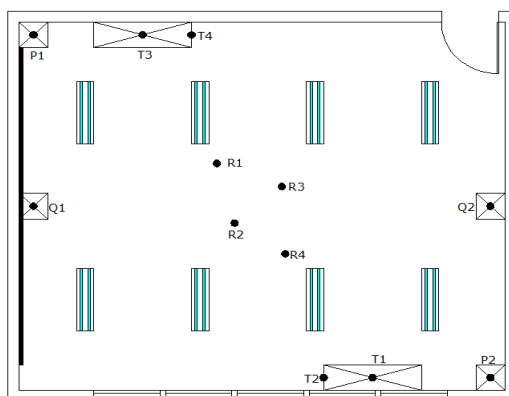


Figura 4 - Pontos de medições no ambiente (adaptado NBR 5382)

3.4.2. Método das Malhas

Este procedimento é baseado no método de malhas encontrado no trabalho de Ghisi (1997), porém neste estudo é utilizado para identificar pontos no ambiente onde há excesso de iluminância. Na Figura 5 são demonstrados os pontos onde foram feitas as leituras, de modo que a quantidade de luminárias influencia na quantidade de pontos medidos. A Equação 3 é utilizada para calcular a iluminância média no ambiente.

$$E = \frac{R(N-1)(M-1) + Q(N-1) + T(M-1) + P}{N.M} \quad \text{Equação 3}$$

- M é o número de filas em que estão localizadas as luminárias (adimensional)
- A é a média aritmética entre os pontos das colunas A (lux);
- B é a média aritmética dos pontos da coluna B (lux);
- C é a média aritmética entre os pontos da coluna C (lux).

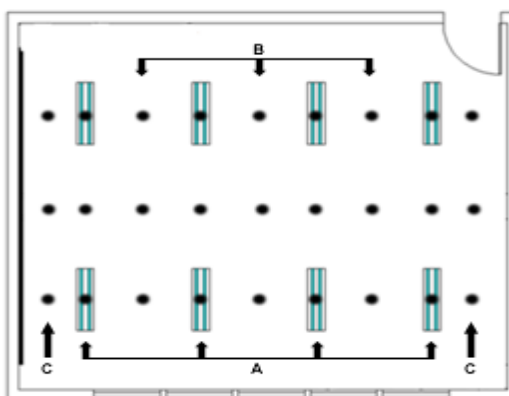


Figura 5 - Pontos de medições no ambiente (adaptado GHISI, 1997)

3.5. Projeto de novo sistema de iluminação artificial

Nesta etapa foram realizadas simulações computacionais com o software Softlux 2.2 desenvolvido pela empresa Itaim Iluminação. O programa utiliza como base em seus cálculos, o Método das Cavidades Zonais e o Método Ponto a Ponto Direto para áreas retangulares. O objetivo nesta etapa é obter um sistema de iluminação mais eficiente e com melhor distribuição dos níveis de iluminância nos ambientes.

3.5.1. Dados de entrada

Os dados de entrada utilizados no software são: comprimento, largura e altura do ambiente; altura do plano de trabalho em relação ao piso e altura de suspensão das luminárias em relação ao teto; refletância das superfícies, no qual apesar de ser possível inserir as refletâncias de teto, paredes e piso, existe a possibilidade de se escolher em uma lista, refletâncias para ambientes claro, médio ou escuro; condições do ambiente, que pode ser limpo, médio ou sujo; e tipo de atividade, em uma lista que traz a iluminância solicitada segundo os limites preconizados na norma NBR 5413. Segundo esta norma adota-se uma iluminância de projeto de 300 lux (salas de aula).

3.5.2. Escolha das luminárias

São escolhidos os modelos de luminárias e o tipo de lâmpada em um banco de dados. As variáveis que podem ser alteradas nesta etapa são o fluxo luminoso e o fator de potência do reator. As luminárias são disponibilizadas em uma lista, onde é possível verificar características como: quantas lâmpadas suportam; tipo de refletor e suas características; fotometria; luminância; fator de utilização, pelo método internacional CIE e pelo método Americano IESNA e fluxo zonal. Entretanto, as características das luminárias não podem ser alteradas; apenas é possível verificar qual luminária possui as características mais adequadas ao ambiente.

3.5.3. Dados de saída

Nesta etapa final da simulação têm-se os dados de saída que são: nível médio, máximo e mínimo de iluminância; quantidade de lâmpadas e em quantas colunas e linhas estão distribuídas; as distâncias das luminárias entre si e em relação às paredes; graficamente, o nível de iluminância ponto a ponto e em modo dinâmico, onde é possível verificar a iluminância em cada ponto da sala, posicionando o mouse sobre o ponto que se deseja saber. Quando estes dados não satisfazem a situação, é possível voltar um passo no software e modificar a quantidade de luminárias, bem como as distâncias ou o nível médio de iluminância necessário no ambiente.

3.6. Escolha dos equipamentos de iluminação

A escolha dos equipamentos é fundamentada no conceito de eficiência energética e rendimento dos equipamentos, e foi baseada nos resultados obtidos nas simulações. Sendo assim, as lâmpadas são escolhidas segundo esta ordem de critérios: eficiência luminosa (lm/W); vida mediana (h); índice de reprodução de cor; temperatura de cor. Para as luminárias os critérios analisados são: refletor de alumínio anodizado de alto brilho; taxa de reflexão superior a 88% e rendimento superior a 85%. Em relação aos reatores, as características verificadas para a utilização neste estudo foram: fator de potência maior que 0,95; distorção harmônica total de corrente menor que 20%; rendimento superior a 92%; fator de fluxo luminoso maior ou igual a 1,00.

3.7. Potencial de economia para os sistemas de iluminação artificial

Considerando que a redução do consumo de energia elétrica neste estudo está baseada na diminuição da densidade de potência, utilização de luminárias com melhor rendimento e reatores mais eficientes, admite-se que o potencial de economia é o valor resultante da potência total instalada do atual sistema de iluminação menos a potência total instalada do sistema de iluminação alcançado na simulação. Sendo esse valor também possível de ser obtido pelo consumo atual menos o consumo previsto para o novo sistema de iluminação.

3.8. Projeto luminotécnico

Com o levantamento dos dados (caracterização dos ambientes e medições dos níveis de iluminância) e as simulações computacionais pode-se avaliar o potencial de redução do consumo de energia elétrica para o campus da UNESC. Os níveis de iluminância mostram a atual situação do sistema de iluminação, por outro lado a caracterização do ambiente demonstra se as salas de aula possuem características adequadas, como, por exemplo, cores claras para as superfícies. O projeto luminotécnico será elaborado com base nos limites

de iluminância preconizados na norma NBR 5413 e ainda considerando-se a depreciação do fluxo luminoso, para que a iluminância mantenha-se adequada ao ambiente em questão ao longo da vida útil das lâmpadas.

3.9. Análise da viabilidade econômica

Para a análise da viabilidade econômica foi utilizado o método pay-back simples. Esta análise é feita considerando o capital investido e em quanto tempo se leva para recuperar o investimento inicial. Considerou-se no cálculo o tempo necessário para recuperar o investimento, baseando-se na economia gerada em cada mês com a utilização do novo sistema de iluminação artificial. Foram feitos três orçamentos a fim de se obter o menor valor para o conjunto (luminária – lâmpada – reator). Após isso, verificou-se a quantidade de conjuntos necessários para suprir todos ambientes analisados.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Uso final do sistema de iluminação artificial das salas de aula

Com base no procedimento descrito no item 3.2 da metodologia é possível estimar o uso final do sistema de iluminação das salas de aula. Considerando a potência instalada (lâmpadas + reatores) e o padrão de uso individualmente para cada edificação, o consumo mensal total para as 152 salas de aula é de 32.417 kWh, ou seja, representa 16% do consumo de energia elétrica do campus.

4.2. Medições do atual sistema de iluminação

Nos ambientes reais não foram feitas simulações computacionais, apenas se obteve os níveis de iluminância por meio de medições *in loco*. Os resultados obtidos nas medições são demonstrados na Tabela 1. Na densidade de potência, considera-se apenas a potência das lâmpadas e a área dos ambientes. Os valores de iluminância mais baixos pertencem a edificações mais antigas, onde seus sistemas de iluminação possuem tempo de uso superior a 48 meses e os valores mais altos de iluminância pertencem a edificações mais atuais onde os sistemas de iluminação possuem vida útil inferior a 24 meses.

Tabela 1 - Potência instalada e níveis de iluminância do sistema atual

Ambiente		Área total (m ²)	Densidade de potência instalada (W/m ²)	Iluminância média método NBR 5382/1985 (lux)	Iluminância média método das Malhas (lux)
Bloco A	Sala 01	119,00	15,06	355	476
	Sala 02	58,00	17,66	405	541
Bloco B	Sala 01	119,00	15,06	369	494
	Sala 02	59,00	17,36	399	505
	Sala 03	32,00	16,00	382	511
Bloco C	Sala 01	59,00	17,36	412	521
	Sala 02, 03	59,00	17,36	406	499
Bloco F	Sala 01, 02	59,00	17,36	395	503
	Sala 03	67,00	15,28	375	516
Bloco G	Sala 01 a 04	59,00	17,36	401	526
Bloco H	Sala 01 a 04	59,00	17,36	422	534
Bloco L	Sala 01 a 03	59,00	17,36	418	522
Bloco R	Sala 08 a 27	67,00	15,28	527	655
Bloco T	Sala 01 a 05	83,00	12,34	513	603
	Sala 06 e 08	73,00	14,03	559	649
Bloco XXI-A	Sala 03 a 21	67,00	15,28	375	438
Bloco XXI-B	Sala 03 a 21	67,00	15,28	366	420

Em relação aos métodos adotados para as medições pode-se verificar que o método das malhas é mais realístico se comparado ao método preconizado na norma NBR 5382, pois são feitas mais leituras no ambiente, além de estarem distribuídas de melhor forma. Os resultados obtidos pelos métodos das malhas indicam que 71% dos ambientes estudados possuem valores médios de iluminância acima da média recomendada pela NBR 5413. Porém, para o método prescrito na NBR 5382, isso ocorre apenas em três

salas de aula. No levantamento de dados realizado no campus da UNESC constatou que os ambientes se encontram em condição limpa, assim como os sistemas de iluminação. As paredes e teto são da cor branca e o piso é de cerâmica na cor cinza claro. O sistema de iluminação atual é composto conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 1 - Sistema de iluminação artificial atual

Lâmpada	Modelo	OSRAM FO32W/640
	Potência (W)	32
	Fluxo Luminoso (lm)	2500
	Índice de Reprodução de Cor	60-69
	Temperatura de Cor	4000
	Eficiência Luminosa (lm/W)	78
	Vida Mediana (Horas)	13.000
Tipo de Reator		Eletromagnético/Partida Rápida
Luminária		Pintura epóxi branca, sem refletor

4.3. Projeto luminotécnico

Com exceção das salas 1 dos blocos A e B, todos os ambientes utilizam oito luminárias com quatro lâmpadas. Considerando que houve variação da área entre os ambientes, alguns recintos já possuíam uma densidade de potência menor, por isso o potencial de redução também foi inferior. Entretanto, apesar da redução ser menos considerável em relação às demais salas, a utilização de luminárias com duas lâmpadas, implicou em um número maior destes equipamentos, de forma que houve uma melhor distribuição dos níveis de iluminância no ambiente. Houve uma majoração da iluminância no processo de simulação para que as perdas luminosas que ocorrem ao longo da vida útil das lâmpadas não resultem em valores abaixo dos índices mínimos recomendados pela norma NBR 5413. Simulações feitas no software Softlux demonstram que a variação da iluminância nas superfícies de trabalho do sistema de iluminação proposto foi de 97 lux, enquanto que no atual foi em média de 215 lux, e ainda alguns pontos apresentaram valores superiores ao recomendado pela norma NBR 5413. A Tabela 2 demonstra os resultados das reduções de potência instalada, iluminâncias obtidas nas simulações e a variação dos níveis de iluminância na superfície de trabalho.

Tabela 2 - Valores de densidade de potência instalada, iluminância média, variação de iluminância e redução da potência instalada obtidos com as simulações computacionais

Ambiente (Blocos)		Densidade potência instalada (W/m ²)	Iluminância média (lux)	Varição iluminância (lux)	Redução da potência instalada (%)
A	Sala 01	7,54	380	76	50
	Sala 02	9,49	382	75	46
B	Sala 01	7,54	380	76	50
	Sala 02	9,49	382	75	45
	Sala 03	10,05	341	149	37
C	Sala01	9,49	382	75	45
	Sala 02, 03	9,49	382	75	45
F	Sala 01, 02	9,49	382	75	45
	Sala 03	8,36	346	110	45
G	Sala 01 a 04	9,49	382	75	45
H	Sala 01 a 04	9,49	382	75	45
L	Sala 01 a 03	9,49	382	75	45
R	Sala 08 a 27	8,36	346	110	45
T	Sala 01 a 05	8,10	347	151	34
	Sala 06 e 08	9,21	342	151	34
XXI-A	Sala 03 a 21	8,36	346	110	45
XXI-B	Sala 03 a 21	8,36	346	110	45
88 salas		8,93	366	97	44

Em média, a redução da densidade de potência para as salas de aula foi de 44%. O sistema de iluminação proposto é caracterizado por lâmpadas com eficiência luminosa 16% superior às lâmpadas de 32 W, menor potência instalada, luminárias de alto rendimento e reatores eletrônicos. A utilização das lâmpadas de 28 W pode ser justificada pelo menor consumo de energia elétrica, mas também por possuir uma vida útil duas vezes maior do que as de 32 W. Apesar de existir lâmpadas T5 de 28 W da marca Sylvania com fluxo luminoso de 2900 lumens e eficiência luminosa de 104 lm/W, optou-se por lâmpadas Philips devido à disponibilidade de compra local. A Tabela 3 demonstra as características do sistema de iluminação proposto.

Tabela 3 - Características dos componentes do sistema de iluminação proposto

Lâmpada	Modelo	PHILIPS TL5-28W-HE/840
	Potência (W)	28
	Fluxo Luminoso (lm)	2.600
	Índice de Reprodução de cor	85
	Temperatura de Cor	4.000
	Eficiência Luminosa (lm/W)	93
	Vida Mediana (Horas)	24.000
Tipo de Reator	Eletrônico com fator de potência maior que 0,95; distorção harmônica total da corrente menor que 20%; rendimento superior a 92%; fator de fluxo luminoso maior ou igual a 1,00.	
Luminária	Para duas lâmpadas fluorescentes T5 de diâmetro 16 mm; refletor de alumínio anodizado brilhante de pureza 99,85% e taxa de reflexão de 88%; rendimento de 85%.	

Os dados de saída do software Softlux podem ser visualizados graficamente com a indicação do nível de iluminância em qualquer ponto do ambiente, conforme visto na Figura 6. Este ambiente pertence ao bloco R e representa uma simulação do sistema atual e do sistema proposto. Além de proporcionar considerável economia de energia elétrica e melhor distribuição dos níveis de iluminância sobre as superfícies de trabalho, a variação dos valores nas superfícies de trabalho também é menor.

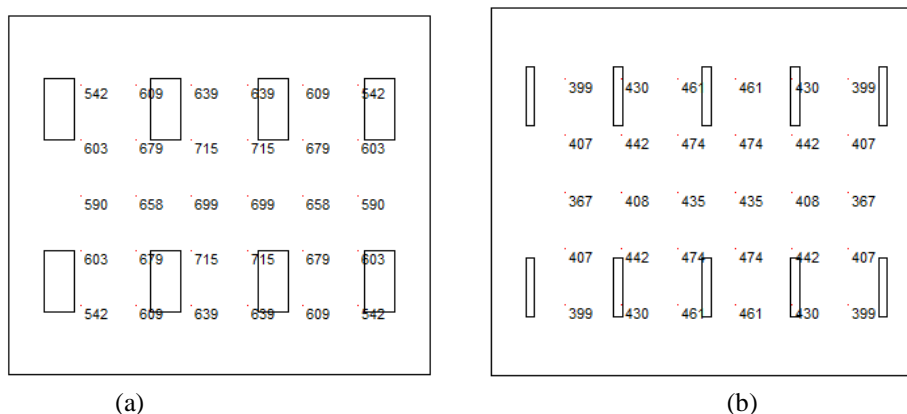


Figura 6 – Iluminâncias do atual sistema de iluminação (a) Iluminâncias do sistema de iluminação proposto (b)

5. Análise da viabilidade econômica

As 88 salas de aula analisadas necessitariam de 888 conjuntos (luminária + lâmpadas + reator). Após orçamento realizado na região se chegou ao valor mais baixo de R\$ 189,93 para cada conjunto. O valor total a ser investido em equipamentos de iluminação artificial é de R\$ 168.657,84.

Com uma menor potência instalada foi possível obter uma redução de 45% no consumo de energia elétrica, o que representa uma economia de R\$ 3.079,85 por mês.

A taxa interna de retorno, considerando o investimento total, é de 55 meses, ou seja, 4 anos e 7 meses.

6. CONCLUSÕES

Nas simulações realizadas verificou-se que a nova geração de lâmpadas T5 de 28W pode proporcionar uma considerável redução de consumo de eletricidade quando comparadas as lâmpadas de 32W, entretanto a sua eficiência só pode ser aproveitada ao máximo quando são utilizadas luminárias de alto rendimento.

Verificou-se que luminárias com quatro lâmpadas proporcionam além do elevado consumo de energia elétrica, fluxos luminosos concentrados em determinadas regiões das salas, enquanto que luminárias com duas lâmpadas e em quantidade adequada proporcionam melhor distribuição dos níveis de iluminância no ambiente.

A redução da potência instalada variou entre 34% e 50% com uma média de 44% para as salas de aula analisadas.

A utilização de luminárias e lâmpadas mais eficientes proporciona para a UNESC menor consumo de energia elétrica e iluminação mais adequada nas salas de aula.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5413**: Iluminância de Interiores – Procedimento - Rio de Janeiro, 1992. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5382**: Verificação de Iluminância de interiores - Procedimento. Rio de Janeiro, 1985. 6 p.

COSTA, Andréa de Souza. **Eficiência energética em iluminação de ambientes, em uma instituição pública de ensino**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba.

GHISI, Eneidir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 1997. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GHISI, Eneidir; TINKER, John A.. Evaluating the potential for energy savings on lighting by integrating fibre optics in buildings. **Building And Environment**. v. 41, No. 12. p. 1611-1621, 2006.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. **Energy And Buildings**, v. 40, n. 1, p. 65-75, 2008.

SANTAMOURIS, Mateo et al. Energy conservation and retrofitting potential in Hellenic hotels. **Energy And Buildings**. v. 24, No. 1. p. 65-75, 1996.

TUPIASSÚ, Álvaro Ferreira, PINHO, João Tavares. Análise de investimentos para reduzir consumo dos usos finais de energia elétrica. **Revista Eletricidade Moderna**, No 383, p. 98-113, 2006.