

Avaliação Econômica da Iluminação de Áreas de Circulação de Edificações Públicas de Ensino

M. S. Martins* . Prof . Dr. D. B. Ramos.**

G. R. Sotele***

**IEEE Graduate Student Member, CEESP, UFSM, Brazil (e-mail: miguelmartins@ieee.com).*

*** Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência,
Universidade Federal de Santa Maria, RS, CEESP, (e-mail: dberlezi@gmail.com)*

**** CEESP, UFSM, Brazil, (e-mail: gabrielsotele.gs@gmail.com)*

Abstract: The energetic demand from artificial lighting systems can consume significant volumes of energy in buildings. Usually, during the lighting project, more attention is devoted to the lighting of the workspaces, where is located the major part of the human action. However, the circulation spaces must be observed carefully, since it is frequent to keep the lighting equipment present in these circulation areas turned on all the time. In this context, this work presents a case study about the lighting condition in the circulation areas of a public building of college education. Normative conformities were verified and, if necessary, changes were proposed for better results in energy efficiency. Simulations are conducted and lighting measurements in the halls and the obtained results are compared. As assessed criteria, were chosen the medium illuminance, the uniformity factor and the energy consumption. The results show that it is possible to reduce by half the number of installed lamps, without loss in the required illuminance level. In the evaluated scenarios in this work, were possible to obtain up to 50% of energy consumption reduction with just a few changes in the lighting system.

Resumo: A demanda energética proveniente dos sistemas de iluminação artificial pode consumir volumes significativos de energia nas edificações. Habitualmente, durante o projeto luminotécnico, dedica-se mais atenção à iluminação dos espaços de trabalho, onde se dá a maior parte da ação humana. Todavia, os espaços de circulação devem ser observados criteriosamente, uma vez que é frequente manter os equipamentos de iluminação ali existentes ligados o tempo todo. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a condição luminotécnica das áreas de circulação de um edifício público de ensino superior. Verificaram-se as conformidades normativas e, se necessárias, propuseram-se mudanças visando maior eficiência energética. São conduzidas simulações e medições de iluminação nos corredores e os resultados obtidos são comparados. Como critérios avaliados, escolheram-se a iluminância média, o fator de uniformidade e o consumo energético. Os resultados mostram que é possível reduzir pela metade o número de lâmpadas instaladas sem prejuízo ao nível de iluminância requerida. Nos cenários avaliados aqui pode-se obter até 50% de redução de consumo energético com poucas alterações do sistema de iluminação.

Keywords: Energy efficiency; Lighting; NBR ISO 8995; Lighting efficiency; Energy consumption.

Palavras-chaves: Eficiência energética; Iluminação; NBR ISSO 8995; Eficiência de iluminação; Consumo de energia.

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica demanda uma otimização do consumo de energia para, simultaneamente, suportar a inserção de novos recursos e reduzir os danos ambientais. Em 2018 a UFSM iniciou um projeto de eficiência energética juntamente com a Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL) e com a Rio Grande Energia Sul (RGEsul) (2019). Esta atividade consiste de um cronograma de ações que visam a modernização do sistema de iluminação e de geração de energia do campus sede da instituição. Propõe-se a substituição de cerca de 1,3 mil lâmpadas fluorescentes de 32W cada por 1,3 mil lâmpadas LED com 18W buscando melhor gestão dos recursos energéticos. Isto implica na substituição direta de uma fonte luminosa fluorescente por uma do tipo LED.

Conforme Gordon, G. (2015), um erro comum ao se projetar sistemas de iluminação é selecionar a luminária antes de decidir o que se deseja iluminar. Isto é, a substituição direta de lâmpadas para redução do consumo de energia, nem sempre é a solução mais adequada. Na substituição tecnológica necessita-se de um estudo luminotécnico que permita adequar a eficiência final do sistema de iluminação com as exigências normativas.

Neste trabalho, como estudo de caso e considerando o contexto do projeto luminotécnico versus a efficientização energética, analisa-se se a nova iluminação do prédio principal e anexos do Centro de Tecnologia da UFSM atendem a norma vigente nas áreas de passagem (corredores e escadarias). Além disso, verifica-se a possibilidade de se obterem melhores níveis de aproveitamento energético através do projeto luminotécnico aplicado a essas áreas. A análise segue a metodologia a ser apresentada, a qual constitui-se de simulação em software (DIALux) e testes práticos segundo o manual Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) Handbook e a normatização adequada aos sistemas de iluminação.

1.1 Revisão Bibliográfica e Metodológica

O presente estudo foi conduzido nas dependências do prédio principal do CT e do prédio 10. Ambos pertencem a UFSM, onde, recentemente, houve uma troca de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

Para fins demonstrativos as avaliações luminotécnicas deste trabalho são dirigidas aos corredores e demais áreas de passagem, do segundo e terceiro andares do prédio principal e os corredores do primeiro e segundo andares do prédio 10.

Anteriormente, todos os corredores possuíam um sistema de iluminação composto por luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 40W cada. Estas foram substituídas por duas lâmpadas LEDs de 18W cada, orientadas em sentido transversal ao corredor. Considerando estas condições de instalação, foi analisada a eficácia da iluminação nestes espaços.

Para validação das mudanças, fizeram-se simulações e, a partir delas, desenvolveu-se uma rotina de testes para aferição dos

dados em campo. Para melhor visualização dos resultados, foram usadas letras para representar os cenários:

A – Duas lâmpadas por luminária (cenário atual);

B – Luminárias com uma e duas lâmpadas intercaladas (Primeiro cenário proposto);

C – Uma lâmpada por luminária (Segundo cenário proposto).

2. NORMATIVA

A ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1:2013 apresenta os valores normativos de Iluminação média mínima para as áreas abordadas incluindo as suas tolerâncias. Os ambientes investigados nesse estudo são as áreas de passagem e escadarias. Conforme a norma, estes devem ter mínimos de 100 lux e 150 lux, respectivamente. Ainda há uma tolerância normativa devida ao fator de 1,5 para mais ou para menos entre as luminâncias.

Segundo a ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1:2013: “um fator de 1,5 para mais ou para menos, mostra a menor diferença significativa entre iluminâncias”, ou seja, se a média mínima é 100 lux, de 75lux a 150 lux, não há diferença significativa no conforto visual.

3. SIMULAÇÃO

A simulação foi feita no Software DIALux EVO 8.0 onde o complexo do CT fora modelado. Para as simulações das luminárias, adotou-se o modelo AS-810 fabricado pela empresa Intral. Este equipamento apresenta a maior semelhança com os instalados. Os resultados obtidos para os cenários A, B e C são mostrados na Tabela 1.

Os resultados mostram ser possível reduzir o número de lâmpadas por luminárias nos corredores onde a exigência mínima é de 100 lux. Porém, o mesmo não se repete para as escadarias onde a norma exige média mínima de 150 lux. Como o resultado se mostrou muito próximo ao mínimo, opta-se por não aplicar os cenários nestes espaços.

Tabela 1. Resultados Simulados

Local	Cenario	Em (lux)
Corredores	A	204
	C	112
Escadarias	A	160
	C	94

Contudo, para uma boa iluminação não basta somente os níveis de iluminância média estar adequada, a distribuição dessas fontes deve se de tal forme que o resultado final seja uma iluminação constante por toda a área de trabalho.

As isolinhas e os diagramas de falsas cores permitem analisar a uniformidade da distribuição luminosa. Os resultados simulados não indicaram diferenças visuais significativas na uniformidade usando duas ou uma lâmpada por luminária conforme observado na Fig.1 (a e b). Nota-se que não há o efeito de zebreamento no

piso (a iluminação permanece constante ao invés de ter faixas escuras e claras intercaladas).

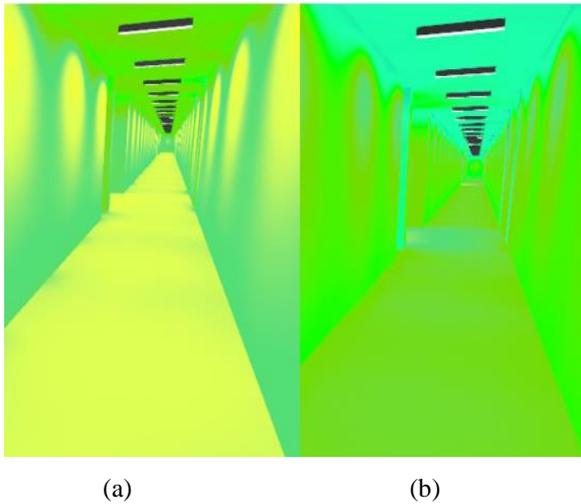


Fig. 1 - Diagrama de falsas cores - duas lâmpadas por luminária (a)(204 lux) e uma lâmpada por luminária (b)(121 lux)

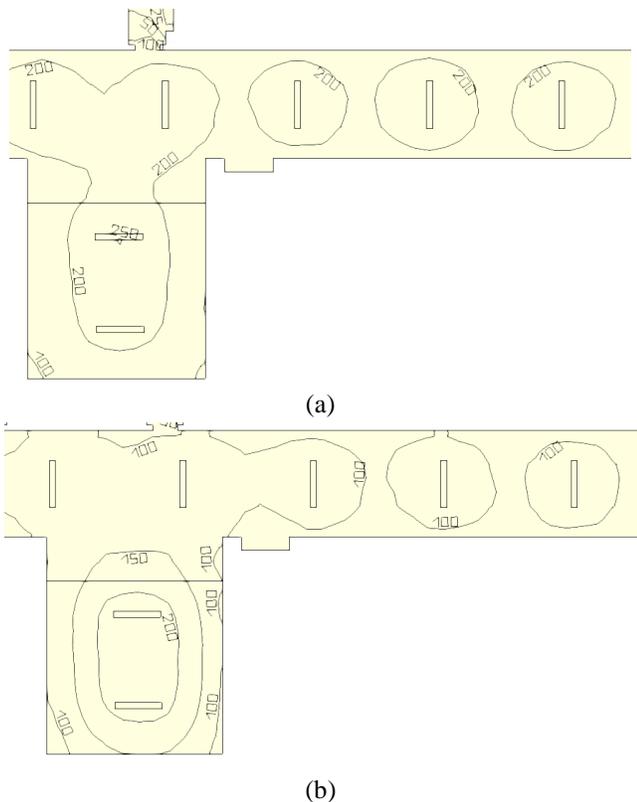


Fig. 2 - Isolinhhas de duas lâmpadas por luminária(a) e com uma lâmpada por luminária (b)

As curvas isométricas demonstradas nas Fig. 2 (a e b) comprovam o resultado obtido. Uma boa iluminação possui

isolinhhas distantes uma da outra. assim conclui-se que se tem uma maior área com a mesma iluminância (pode-se fazer um contraste com linhas de nível, onde áreas com linhas mais afastadas são mais planas).

3.1 Metodologia para Aferição de Dados Experimentais

O presente trabalho analisou os corredores do prédio do CT da Universidade Federal de Santa Maria, bem com os corredores do Prédio 10 (anexo ao CT). Para a avaliação das condições do sistema de iluminação instalados ali seguiu-se a metodologia citada no livro IESNA Handbook (2000). Os valores de referência foram obtidos a partir da Norma ABNT/NBR 8995. Os dados foram obtidos por meio de um luxímetro POL-10B da Politem. O croqui da sequência de medidas realizadas, seguindo a recomendação da IESNA e as posições das medições são indicadas na Fig. 3. Os números ímpares estão abaixo das luminárias e pares pontos entre as luminárias.

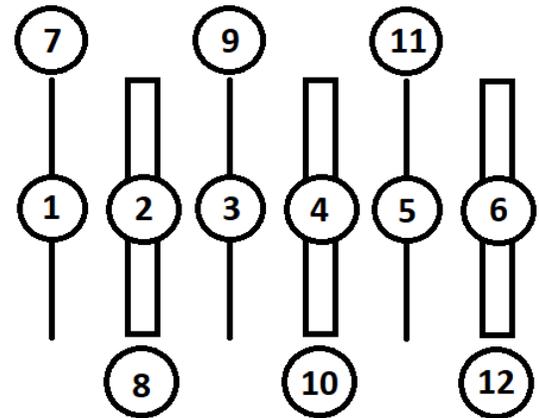


Fig. 3 - Posicionamento do Luxímetro

A NBR 8995-1:2013 ainda indica dois cálculos que devem ser considerados nesse estudo. São eles: a iluminância média e o fator de uniformidade que calculados pelas equações (1) e (2), respectivamente.

A equação (2) é usada duas vezes: uma para a $E_{\text{mínima}}$ central (dados coletados nos pontos 1-6 na Fig. 3) e outra para a iluminância de entorno (dados coletados nos pontos 7-12). A NBR 8995-1:2013 indica valores mínimos de 0,7 e 0,5 para $F_{U\text{central}}$ e $F_{U\text{ent}}$, respectivamente.

$$E_{\text{média}} = \frac{\sum_0^n E_n}{n} \quad (1)$$

$$F_u = \frac{E_{\text{mínima}}}{E_{\text{média}}} \quad (2)$$

Os dados coletados são processados em uma planilha eletrônica, utilizando as equações (1) e (2). E os resultados são apresentados em tabelas divididas por cenários (esses abordados anteriormente)

4. RESULTADOS

Com os resultados das simulações e uma metodologia para aferição e cálculo de dados obtêm-se os resultados discutidos a seguir. A fim de validar os valores obtidos no DIALux utilizam-se os corredores do 2º e 3º andares do CT e 1º e 2º andares do prédio 10. As tabelas 2,3,4 e 5 mostram os resultados obtidos para os cenários propostos neste trabalho.

Com os resultados apresentados, nota-se que todos cenários obtiveram o mínimo recomendado na norma. Mesmo que em alguns locais o cenário “C” não apresentou o mínimo de 100 lux, porém, conforme afirmado anteriormente na secção A, é aceitável que se obtenha uma média de até 75 lux em um ambiente, o que torna os resultados anteriores no cenário “C” válidos.

Tabela 2. Resultados para o corredor do 2º andar do prédio 10

Teste	A	B	C
E_m (lux)	176	124	100
$F_{u_{central}}$	0,82	0,85	0,75
$F_{u_{ent}}$	0,80	0,93	0,77

Tabela 3. Resultados para o corredor do 1º andar do prédio 10

Teste	A	B	C
E_m (lux)	154	109	87
$F_{u_{central}}$	0,70	0,71	0,73
$F_{u_{ent}}$	0,74	0,85	0,76

Tabela 4. Resultados para o corredor do 2º andar do CT

Teste	A	B	C
E_m (lux)	175	114	92
$F_{u_{central}}$	0,83	0,80	0,75
$F_{u_{ent}}$	0,80	0,75	0,70

Tabela 5. Resultados para o corredor do 3º andar do CT

Teste	A	B	C
E_m (lux)	165	108	86
$F_{u_{central}}$	0,77	0,79	0,75
$F_{u_{ent}}$	0,79	0,72	0,76

Após os testes, não se observa, visualmente, uma diferença significativa entre os cenários propostos como mostra Fig. 4. Na Fig. 4(a) tem-se a configuração duas lâmpadas por luminária, na Fig. 4(b) tem-se a configuração luminárias com uma e duas lâmpadas intercaladas na Fig. 4(c).



(a) (b) (c)

Fig. 4 - Duas lâmpadas por luminária (a) / luminárias intercaladas (b) / uma lâmpada por luminária (c)

4.1 Mudanças nas Luminárias

Os resultados examinados até aqui não consideram mudanças nas disposições das luminárias. Apenas propõem-se variações no número de lâmpadas por luminárias. Assim, exploram-se agora duas mudanças físicas e seus impactos.

Os corredores estudados apresentam luminárias em sentido transversal ao corredor. Portanto, primeiramente, propõe-se rotacionar em 90º as luminárias de forma que seus eixos fiquem em sentido paralelo ao corredor. Os resultados são mostrados na tabela 6. Aplicou-se esse teste ao corredor do 2º andar do CT por questões de acessibilidade e mão-de-obra.

Comparando os resultados da tabela 4 e da tabela 6, observa-se que a iluminância média diminuiu. Porém, os fatores de uniformidade aumentaram. Isso se deve ao fato de que as fontes luminosas tenham uma maior amplitude de dispersão do fluxo luminoso neste sentido. Novamente, destaca-se que todos os cenários estão dentro dos padrões normativos.

A segunda alteração avaliada é a substituição da luminária original por uma luminária de fecho mais concentrado e alta refletância. Neste caso, adotou-se como referência uma luminária da fabricante Intral, modelo AS-810, para lâmpadas fluorescentes tubulares, com corpo em chapa de aço (pintado de branco) e refletor facetado em alumínio anodizado brilhante de alta refletância e alta pureza 99,85%. Estas informações são fornecidas no catálogo do fabricante do equipamento. Com essa alteração, espera-se melhorar tanto a iluminância quanto os fatores de uniformidade. Os mesmos cenários são repetidos para as novas condições do sistema de iluminação. Novamente utiliza-se o corredor do 2º andar da edificação avaliada.

Conforme os resultados apresentados nas tabelas 6 e 7 a adição do refletor melhora consideravelmente o fator de uniformidade, sem reduzir a iluminância média. Utilizando o cenário “C” como exemplo, obteve-se a mesma E_m da tabela 4 com fatores de uniformidade superiores aos obtidos na tabela 6. Assim, percebe-se o impacto que o refletor traz sob a área de trabalho.

Tabela 6. Resultado com a luminária rotacionada

Teste	A	B	C
E_m (lux)	144	109	79
$F_{u_{central}}$	0,95	0,87	0,91
$F_{u_{ent}}$	0,90	0,85	0,79

Tabela 7. Luminárias com refletores transversais ao corredor

Teste	A	B	C
E_m (lux)	170	137	92
$F_{u_{central}}$	0,93	0,85	0,90
$F_{u_{ent}}$	0,92	0,86	0,89

4.2 Proposta de Reprojetor

Para a análise de reprojetor considera-se o número total de luminárias nos dois prédios analisados (prédio 10 e o CT): 108 luminárias. Cada uma pode conter até duas lâmpadas LEDs de 18 W ou duas fluorescentes de 40W (cenário do sistema de iluminação original). Cada cenário é analisado nos períodos de 1 mês, 6 meses, 12 meses, 24 meses e 36 meses. É importante considerar a curva de demanda para medir o consumo ao invés da potência instalada, pois o consumo muda conforme as cargas passam a ser utilizadas. Assim, de acordo com a Figura 5, os períodos entre 6:30 e 7:30, e 19:45 até 20:45, são períodos nos quais o consumo de energia pelo sistema de iluminação está em ascensão e declínio, respectivamente. Ao não examinar a curva de demanda, o consumo de energia obtido durante esses períodos será errôneo, o que leva a grandes erros de medição quando consideramos um período estendido de tempo.

Curva de Demanda da Iluminação

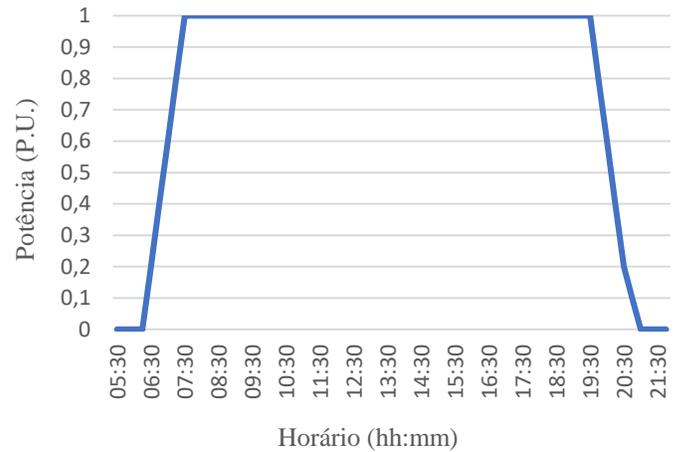


Fig. 5 – Curva de demanda a iluminação do prédio 10 e do CT *o período de tempo não mostrado no gráfico, considera-se que o conjunto luminoso estaria desligado.

A tabela 8 mostra os consumos obtidos assumindo que o sistema funcione conforme a curva de demanda levantada, como mostra a figura 5.

Tabela 8. Consumo estimado MWh

Período	Anterior	A	B	C
1 mês	2,294	1,032	0,774	0,516
6 meses	13,763	6,194	4,645	3,097
12 meses	27,527	12,387	9,290	6,194
24 meses	55,054	24,774	18,581	12,387
36 meses	82,581	37,162	27,871	18,581

Os resultados obtidos com esta avaliação comprovam que, mesmo a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED já resultando em uma grande diminuição de consumo, é possível reduzir ainda mais o consumo aumentando a eficácia do sistema conforme mostra os resultados do cenário “C”.

A Fig. 6 mostra a projeção de consumo energético para os diversos cenários investigados na Tabela 8. Observa-se claramente que a substituição das lâmpadas fluorescentes por LEDs oferece uma redução significativa no consumo. Todavia, a substituição direta das fontes luminosas não representa a melhor característica de eficiência energética, pois ainda é possível otimizar ainda mais o sistema de iluminação. Esta otimização é bem definida ao compararem-se os resultados obtidos entre os cenários A e C.

Dado que a UFSM possui demanda contratada, o impacto econômico não fica claro frente a uma análise direta. Portanto, para melhor representar os resultados obtidos, a tabela 9 apresenta os resultados em porcentagem de consumo, assumindo

o cenário “A” (cenário atual) como “100%” temos os seguintes resultados.

Tabela 9. Consumo Relativo

Cenário	%
Anterior	200
A	100
B	75
C	50

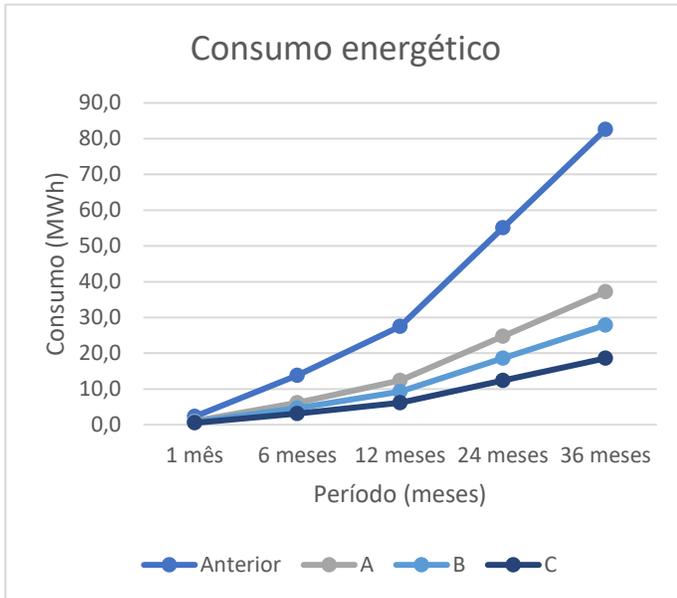


Fig. 6 - Gráfico com os valores da tabela 8. cada cenário sendo representado pela sua letra e o cenário F representa o consumo com as lâmpadas fluorescentes

Como os cenários luminotécnicos tem uma demanda muito inferior a demanda contratada da instituição, tanto a de ponta (3000kW) quanto a de fora ponta (5000kW), no momento, a análise econômica destes cenários deve ser feita considerando apenas duas tarifas: a tarifa de uso dos sistemas elétricos de distribuição, e a tarifa de energia. Seus valores combinados resultam em 30,8762 R\$/kWh no período de ponta, e 20,63581 R\$/kWh no período de fora ponta (sendo o período de ponta das 18:00h até as 21:00h) Os valores de demanda e consumo para os cenários luminotécnicos analisados estão presentes na tabela 10.

Tabela 10. Valores de Demanda e Consumo

Cenário	DEMANDA (kW)		CONSUMO (kWh)	
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
Anterior	8,64	8,64	393,12	8.782,56
A	3,888	3,888	176,904	855,36
B	2,916	2,916	132,68	641,52
C	1,944	1,944	88,452	427,68

Em um período de um ano, o valor gasto com energia elétrica para o funcionamento dos cenários luminotécnicos, considerando apenas os valores tarifários da RGE Sul estão representados na tabela 11.

Tabela 11. Valores Tarifados por cenário

Cenário	Valores Tarifados (R\$)	
	1 mês	1 ano
Anterior	3.166,92	38.003,12
A	378,89	4.546,76
B	284,17	3.410,08
C	189,44	2.273,38

Pode-se perceber uma redução significativa em todos os quesitos expostos nas tabelas 10 e 11. Por mais que a redução de demanda não tenha impacto na redução da tarifa de energia, por causa do método adotado neste trabalho, ela alivia a demanda de forma constante durante todo o período de funcionamento dos prédios analisados neste artigo. O impacto da redução de consumo pode se ver refletido de forma positiva na redução dos valores tarifados. Há uma redução de aproximadamente 95% nos gastos com energia elétrica quando comparados o cenário anterior com o atual (cenário C).

5.CONCLUSÕES

Com recursos cada vez mais escassos, deve-se procurar reduzir o desperdício de energia. Na iluminação, valores acima do que a norma dita, tecnologias antiquadas e um projeto luminotécnico mal executado podem acarretar em um consumo desnecessário de energia. Portanto, a troca direta de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, apesar de diminuir o consumo, pode não implicar o resultado mais eficiente. Isto é, a energia pode continuar a ser desperdiçada. É necessário um reprojeto que vá além da simples substituição das lâmpadas para se obter um resultado melhor na eficiência energética e no cenário luminotécnico do ambiente.

Deste modo, conclui-se com esse trabalho a possibilidade de ter um sistema luminotécnico composto de apenas uma lâmpada por luminária. O cenário “C” (uma lâmpada por luminária), mostrou-se o cenário com maior eficácia, pois possui o menor consumo (tabela 8) e uma redução na tarifa (tabela 11) de até 95% quando comparado com o cenário anterior, além de estar com os valores de iluminância em conformidade com a norma vigente.

O menor consumo e a diminuição de equipamentos geram um retorno financeiro o qual pode ser redirecionado para áreas deficitárias melhorando ainda mais a eficiência energética do prédio como um todo. Também, a rotina criada para avaliação e os cenários propostos, servem não somente para esse estudo, mas, de maneira geral, para qualquer ambiente o qual deseja-se analisar.

Futuramente, deseja-se analisar o impacto do uso de sensores de presença na redução de consumo e a ampliação desse estudo em demais áreas da UFSM.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 - Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior.

DIAL. DIALux. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux-desktop/>> Acesso em 02/12/2018

GORDON, G. (2015). *Interior Lighting for Desingners*. 5. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons.

Intral, AS-810 Disponível em: <<http://intral.com.br/pt/produtos/luminarias-para-lampadas-fluorescentes/luminarias-para-lampadas-t8-de-sobrep/AS-810>> Acesso em: 06/03/2019.

Luxímetro digital modelo POL-10B. Disponível em: <http://www.politerm.com.br/Produto-PRODUTOS-Luximetro-Luximetro-Digital-modelo-POL-10B-versao-175-191.aspx>. Acesso em: 28 de setembro 2018.

REA, M. S. (2000). *Illuminating Engineering Society Of North America. The IESNA lighting handbook: reference and application*. 9. ed. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

Tarifas – RGE. Disponível em: <https://www.cpfempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=D008>. Acesso em: 18 de junho de 2019

UFSM desenvolve projeto de eficiência energética junto com a CPFL e RGE Sul - <https://www.ufsm.br/2018/04/10/%E2%80%8Bufsm-desenvolve-projeto-de-eficiencia-energetica-junto-com-a-cpfl-e-rge-sul/> Acesso em 03/06/2019