



ANÁLISE DA REQUALIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL DE UMA SALA DE AULA VISANDO A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E MAIOR EFICIÊNCIA LUMÍNICA

CAMPOS, Allan Silva (1); GONÇALVES, Gabriela Gomes (2); COSTA, Bruno Barzellay Ferreira (3); KNOPP, Leandro Tomaz (4)

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, allan.campos97@gmail.com

(2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, gabriela2014.ggoncalves@gmail.com

(3) Universidade Federal do Rio de Janeiro, bruno.barzellay@macae.ufri.br

(4) Universidade Federal do Rio de Janeiro, leandrotknopp@gmail.com

RESUMO

As edificações respondem por cerca de 20 a 45% do consumo mundial de energia elétrica. Tendo em vista que uma parcela significativa deste montante é destinada ao custeio de sistemas de iluminação artificial, cresce a preocupação com a elaboração de projetos cada vez mais eficientes. Sendo assim, o dimensionamento dos equipamentos, levando-se em consideração a escolha correta das luminárias segundo suas características técnicas e sua localização no ambiente, é de fundamental relevância para o bom desempenho do sistema. Este trabalho tem como objetivo a análise da eficiência do sistema de iluminação de uma sala onde são ministradas aulas para os cursos de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro no Pólo Universitário de Macaé, visando recomendar modificações que favoreçam o conforto dos usuários e manifestem potencial de redução do consumo de energia elétrica na instituição, caso sejam extendidas para as demais dependências do campus. Inicialmente foi executado um protocolo experimental por meio de sensores distribuídos de acordo com a geometria da sala, conforme recomendação da NBR15215-4, dispostos a 0,75m do piso. As medições foram realizadas no mês de setembro de 2019, no período noturno, visto que só a eficiência da iluminação artificial será abordada neste trabalho. A realização das aferições *in loco* teve como finalidade diagnosticar a situação atual do ambiente, para sua posterior comparação com os resultados das simulações obtidas pelo Software DIALux, o qual foi utilizado para analisar o desempenho de possíveis configurações de layout. Concluiu-se que a atual distribuição das luminárias não é adequada, com isso, a requalificação do sistema lumínico do ambiente apresentou benefício às atividades desenvolvidas no espaço, assim como alto potencial de redução na conta de energia elétrica da instituição.

Palavras-chave: Iluminação, Simulação lumínica, DIALux, Requalificação.

ABSTRACT

Buildings account for about 20% and 45% of world electricity consumption. Given that a significant portion of this amount is allocated to the costing of artificial lighting systems, there is growing concern about the design of increasingly efficient projects. Thus, the correct sizing of equipment, taking into account the correct choice of luminaires according to their technical characteristics and their location in the environment, is of fundamental relevance to the good performance of the system. This paper aims to analyze the efficiency of the artificial lighting system in a room where classes are ministered for engineering courses at the Federal University of Rio de Janeiro at the Macaé University Pole, aiming to recommend modifications that favor users comfort and manifest potential in reducing electricity consumption at the institution, if they are extended to other campus facilities. Initially, an experimental protocol was performed using sensors distributed according to the geometry of the room, as recommended by NBR15215-4, arranged 0.75m from the floor. Measurements were taken in September 2019 at night, since only the efficiency of artificial

lighting will be addressed in this work. The purposed on-site measurements were performed to diagnose the current situation of the environment, for subsequent comparison with the results of DIALux, which was used to simulate the performance of various layout configurations. It was concluded that the current distribution of the lamps is not adequate, therefore, the reconversion of the ambient light system has benefited the activities developed in the space, as well as presented a high potential for reducing the institution's electric bill.

Keywords: *Lighting, Light simulation, DIALux, Reconversion.*

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de iluminação artificial consistem em conversores capazes de transformar a energia elétrica em condições adequadas de conforto visual (FONSECA & PEREIRA, 2017), permitindo a utilização dos espaços em períodos do dia nos quais a luz natural não está mais disponível, ou então em ambientes onde esta, por si só, não proporciona condições lumínicas suficientes para uso. Atualmente a iluminação artificial responde por cerca de 20 a 45% de todo o consumo de energia elétrica em edificações (DOULOS et al., 2019; SANTOS et al., 2017), ou seja, aproximadamente um terço de toda a energia consumida mundialmente em edificações comerciais (SOORI & VISHWAS, 2013). Com isso, este sistema, em conjunto com os sistemas de condicionamento de ar, são responsáveis pelo maior consumo de eletricidade na grande maioria dos edifícios comerciais (ALRUBAIIH, 2013; DIDONÉ & PEREIRA, 2010).

Em instituições educacionais este cenário se torna ainda mais preocupante, uma vez que em salas de aula os níveis lumínicos adequados devem ser mantidos por muitas horas durante o dia (SALATA et al., 2016), podendo chegar a consumir 50% de toda a energia do edifício em comparação à outras áreas como cozinhas, banheiros, bibliotecas, entre outras (DOULOS et al., 2019).

Sendo assim, considerando que os ambientes internos representam o cerne da vida moderna (SALATA et al., 2016), a requalificação dos sistemas de iluminação artificial desempenham um papel fundamental na redução do consumo energético das edificações, o que vem atraindo a atenção de gestores, sempre interessados em economizar nas despesas fixas das edificações (SOORI & VISHWAS, 2013).

Com base nas informações supracitadas, entende-se que o projeto de iluminação artificial encontra-se diretamente relacionado com o conforto visual dos usuários e com a redução do consumo de energia da edificação (MAVROMATIDIS, 2014). As maneiras mais usuais para se conquistar estas duas características são a instalação de novas luminárias, mais eficientes, e a redistribuição dos equipamentos no ambiente, de forma a otimizar sua eficiência lumínica (DOULOS et al., 2019).

Este trabalho, portanto, tem como objetivo a análise da eficiência do sistema de iluminação de uma sala onde são ministradas aulas para os cursos de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro no Pólo

Universitário de Macaé, visando recomendar modificações que favoreçam ao conforto dos usuários e manifestem potencial de redução do consumo de energia elétrica na instituição, caso sejam extendidas para as demais dependências do campus.

Para tanto, adotou-se como abordagem metodológica um estudo de caso, no qual, por meio de um protocolo experimental e simulações computacionais, investigou-se diversas configurações de iluminação artificial, visando aquela que proporcionasse a iluminância mínima determinada pela norma e também uma maior economia de energia elétrica.

2 METODOLOGIA

A abordagem metodológica adotada nesta pesquisa foi o estudo de caso, realizada por meio da análise da eficiência da iluminação artificial em uma sala de aula situada no bloco B da Cidade Universitária de Macaé - RJ, localizada na Av. Aluizio da Silva Gomes, 50 - Novo Cavaleiros, Macaé - RJ, 27930-560, sob coordenadas 22° 23' Sul e 41° 48' oeste.

Inicialmente foi executado um protocolo experimental por meio de sensores distribuídos de acordo com a geometria da sala, conforme recomendação da NBR 15215-4, dispostos a 0,75m do piso. Os valores de iluminância foram obtidos por meio de um luxímetro modelo TLux 100 digital da marca Incoterm, que consiste em um sensor fotométrico de silício (Figura 1).

Figura 1 – Luxímetro utilizado



Fonte: Acervo dos autores

As medições foram realizadas no mês de setembro de 2019, no período noturno, visto que só a eficiência da iluminação artificial será abordada neste trabalho. A realização das aferições *in loco* teve como finalidade diagnosticar a situação atual do ambiente, para sua posterior comparação com os resultados das simulações obtidas pelo Software DIALux, o qual foi utilizado para analisar o desempenho de diferentes configurações de layout.

A sala em questão apresenta 8 metros de largura por 8 metros de comprimento e pé direito de 2,80 metros (Figura 2). A mesma é composta por 5 esquadrias de vidro com altura de 1,07m, as quais não se mostraram relevantes para este estudo, visto que todas as aferições foram realizadas a noite, não havendo fontes de luz externas à sala que causassem distúrbios às medições. O sistema de iluminação artificial da sala é composto atualmente por 8 luminárias com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 watts cada, totalizando assim 32 lâmpadas da fabricante OSRAM, modelo FO32W/640 – K378 White.

Figura 2 – Sala de aula analisada



Fonte: Acervo dos autores

O acabamento das superfícies das paredes, piso e teto influenciam diretamente na forma como a luz é distribuída no ambiente, e sendo assim foram adotados valores distintos de refletância para cada uma destas superfícies conforme o banco de dados do DIALux, que as define com base nas cores dos materiais. Neste caso, conforme pode ser observado na Figura 2, a sala estudada apresenta paredes de cor marfim, teto com forro na cor branco gelo e piso de granilite. Portanto, a Tabela 1 ilustra os valores de refletância adotados para cada um destes elementos.

Tabela 1 – Refletância das cores da sala

Cor	Refletância (%)
Branco gelo	59
Marfim	66
Granilite/cimento	27

Fonte: Software DIALux 4.13

O posicionamento dos sensores foi definido por meio de uma malha de pontos, cujo número mínimo é definido por equação fornecida pela NBR 15215-4.

$$K = \frac{C * L}{Hm(C + L)} \quad (1)$$

Onde:

- K = número mínimo de pontos de medição;
- C = comprimento do ambiente estudado (em metros);
- L = largura do ambiente estudado (em metros);
- Hm = distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela (em metros).

Dessa forma, considerando as dimensões da sala em estudo e o Hm de 1,53 metros, obteve-se um valor de K= 2,72. Nesse caso, o número mínimo de pontos a ser medido seria de 25 (Tabela 2).

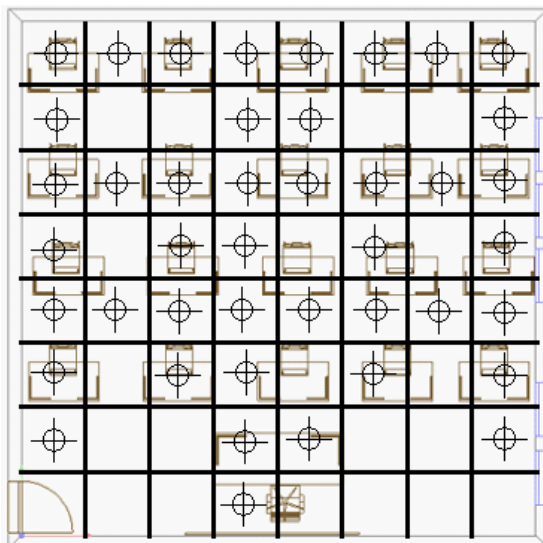
Tabela 2 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos

K	Nº de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: NBR 15215-4 (2005)

Entretanto, visando uma melhor análise das áreas críticas do ambiente, optou-se por dividir a sala em quadrantes de 1 m², resultando assim em 64 possíveis pontos de medição. Deste total, 43 pontos foram aferidos, representando quase o dobro de medições sugeridas pela norma. (Figura 3).

Figura 3 – Malha de pontos



Fonte: Elaborado pelos autores

O equipamento foi locado sempre no centro de cada quadrante, resultando em uma distância de 0,5m das paredes para os pontos de medição próximos as mesmas, como recomendado pela norma. Os valores de iluminância foram então confrontados com os valores estabelecidos pela NBR 8995, que trata de iluminação interna de ambientes de trabalho, para verificar se a iluminação da sala está em conformidade com o instrumento normativo em vigor. No caso apresentado, esperava-se obter, no mínimo, 500 lux na área de trabalho, entretanto, os valores obtidos ficaram bem abaixo do esperado, como poderá ser analisado posteriormente.

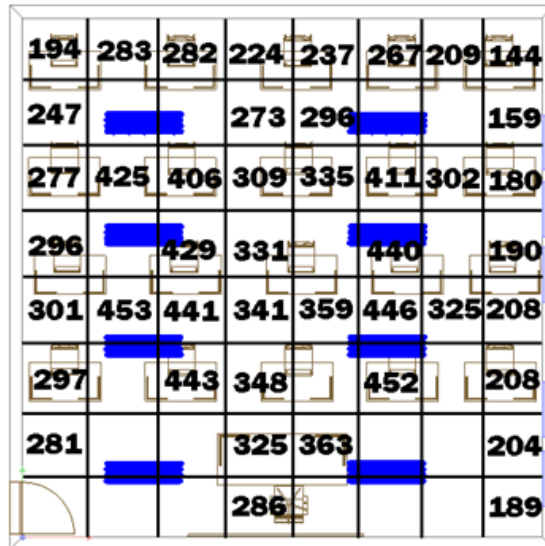
Por fim, foi possível elaborar um modelo utilizando o software DIALux 4.13. A utilização de simulação computacional facilita o cômputo da grande quantidade de dados necessários para o cálculo do desempenho lumínico da edificação, e a análise de seus resultados simplifica a tomada de decisões referentes ao processo de projeto da edificação (RAMOS & GHISI, 2010). O DIALux permite a realização de simulações de iluminação mediante o controle total das variáveis de projeto, tais como: quantidade e tipo de lâmpadas, localização das mesmas e refletância das superfícies. Com o uso desta ferramenta computacional foram simuladas diversas opções de iluminação artificial, visando aquela que proporcionasse a iluminância determinada pela norma na maioria dos quadrantes e também a maior economia de energia elétrica.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O primeiro resultado a ser analisado corresponde ao nível de iluminância obtido por meio do sistema atual. Conforme especificado na seção anterior, a sala foi dividida em uma matriz 8 x 8, totalizando 64 quadrantes de 1m² cada. Verificou-se então que nenhum dos 43 pontos aferidos *in loco*

atendeu ao mínimo de 500 lux exigido pela norma, ou seja, um resultado bem abaixo do que está regulamentado. É importante ressaltar que, mesmo em quadrantes situados precisamente abaixo das luminárias, a iluminância máxima alcançada foi de 453 lux (Figura 4), enquanto a mínima foi de 144 lux o que, na prática, pode vir a causar grande desconforto e diminuição da produtividade do estudante posicionado nesta área da sala.

Figura 4 – Iluminância aferida por meio de medição *in loco*



Fonte: Elaborado pelos autores

Deste modo, pode-se perceber que, atualmente, obtém-se uma eficiência luminosa muito baixa, apesar do alto consumo energético. De fato, considerando-se que as 32 lâmpadas fluorescentes, de 32 watts de potência cada, permanecem ligadas diariamente das 16:00 até 22:00 horas durante uma média de 22 dias úteis, obtém-se um consumo mensal de 135.2 KWh somente para esta sala de aula. Isto se deve a dois fatores específicos, a baixa eficiência das lâmpadas utilizadas e seu posicionamento equivocado no ambiente, onde atualmente, se encontram distribuídas em duas fileiras de quatro lâmpadas, conforme Figura 4.

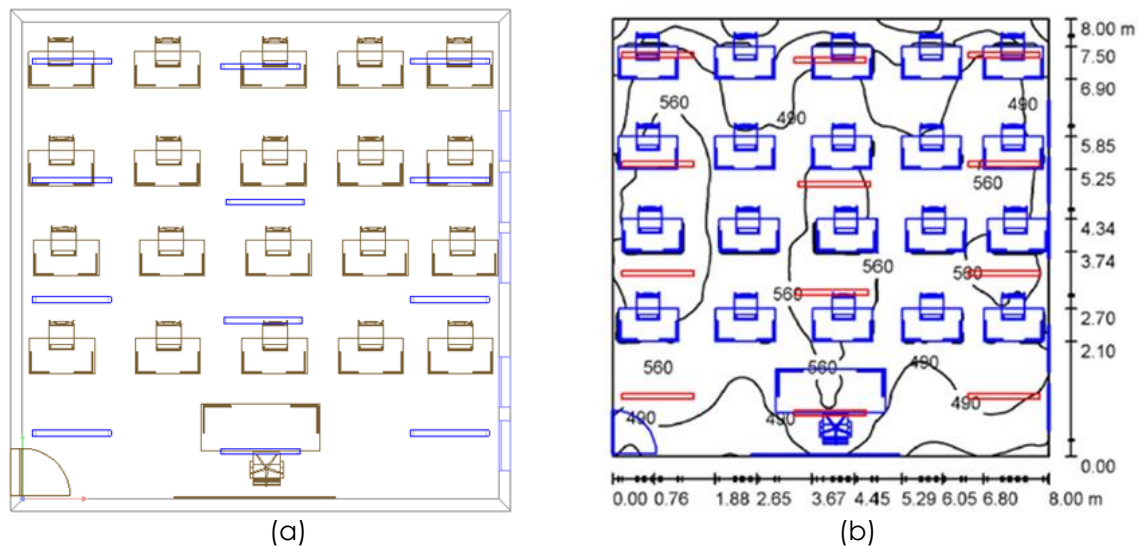
Com o objetivo de encontrar uma solução para esta situação desfavorável, foram realizadas diversas simulações por meio do software DIALux, cuja finalidade foi atingir a referência normativa de 500 lux de iluminância em todos os pontos da sala, assim como uma uniformidade de iluminância de no mínimo 0,6, além de vislumbrar a possibilidade de fazer com que o novo sistema de iluminação gere economia para a instituição em relação ao sistema atual.

A primeira variável a ser trabalhada diz respeito ao tipo das lâmpadas empregadas. Como já foi visto, a utilização de um número considerável de lâmpadas de baixa eficiência lumínica não é suficiente para proporcionar o conforto necessário aos usuários, além de aumentar o consumo de energia. Sendo assim, optou-se por simular a aplicação de lâmpadas de LED, que apresentam maior fluxo luminoso, maior vida útil e menor consumo

em relação às lâmpadas fluorescentes ou incandescentes. O equipamento escolhido foi coletado junto ao catálogo da fabricante Phillips, modelo WT470C L1300, de 30.5 watts de potência e fluxo luminoso de 4100 lúmens. O uso de aparelhos mais eficientes permitiu uma redução drástica no número de lâmpadas, passando de 32 unidades fluorescentes para apenas 12 unidades do tipo LED.

A segunda variável abordada foi a posição de cada uma das lâmpadas. Enquanto a distribuição atual afastava os equipamentos das paredes, distribuindo-as em apenas duas fileiras, o modelo que se mostrou mais eficaz foi aquele onde as mesmas foram divididas em três fileiras, uma central e duas laterais, de 4 lâmpadas cada (Figura 5a). É possível perceber que as três lâmpadas centrais, localizadas mais próximas à parte frontal da sala foram propositalmente deslocadas para frente, de forma a distribuir melhor a luminosidade.

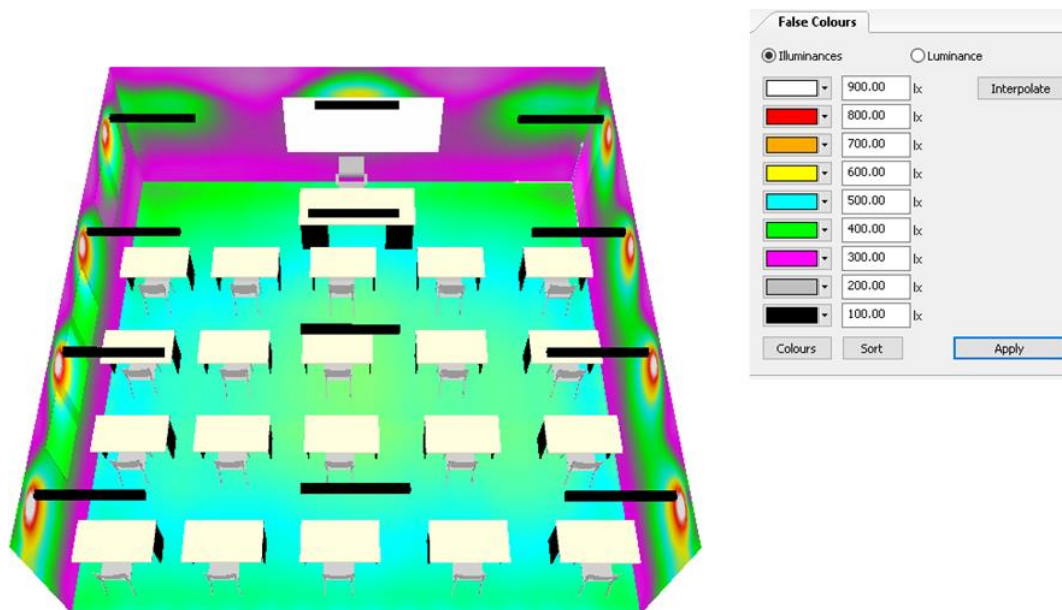
Figura 5 – Distribuição das lâmpadas segundo o novo layout



Fonte: Software DIALux 4.13

Com isso, após a simulação, pode-se perceber que as curvas de isoiluminância (Figura 5b) apresentam, em sua quase totalidade, valores superiores a 500 lux, conforme determinado pela norma, o que pode ser confirmado por meio do diagrama de cores falsas ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama de cores falsas da sala de aula



Fonte: Software DIALux 4.13

De acordo com a escala apresentada ao lado da figura, a cor ciano representa uma iluminância de 500 lux, e pode ser observada em praticamente toda a área de trabalho horizontal. Os únicos pontos marcados em verde no plano horizontal, cor que corresponde à um nível de iluminância de 400 lux e, portanto, inferior ao estipulado pela norma, são aqueles situados nas laterais próximas ao quadro branco e que, normalmente, não são ocupados pelos alunos, correspondendo à uma área sem uso. A Figura 7 ilustra os dados técnicos utilizados no DIALux para a realização da simulação em questão.

Figura 7 – Dados técnicos da simulação no DIALux

Height of Room: 2.800 m, Mounting Height: 2.800 m, Maintenance factor: 0.80 Values in Lux, Scale 1:103

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u_0
Workplane	/	510	314	619	0.616
Floor	27	497	363	558	0.732
Ceiling	70	227	165	631	0.729
Walls (4)	66	379	228	1082	/

Workplane:

Height: 0.750 m
 Grid: 128 x 128 Points
 Boundary Zone: 0.000 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.801, Ceiling / Working Plane: 0.445.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ (Luminaire) [lm]	Φ (Lamps) [lm]	P [W]
1	12	PHILIPS WT470C L1300 1 xLED42S/840 O (1.000)	4100	4100	30.5
Total:			49200	49200	366.0

Specific connected load: $5.72 \text{ W/m}^2 = 1.12 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Ground area: 64.00 m^2)

Fonte: Software DIALux 4.13

Por fim, concluiu-se que 12 lâmpadas de LED proporcionaram a iluminância necessária ao ambiente, o que não foi possível com as 32 lâmpadas fluorescentes atualmente utilizadas, basta saber se este sistema será também mais eficiente em termos de consumo. Deste modo, considerando-se que as 12 lâmpadas LED, de 30,5 watts de potência cada, permanecem ligadas diariamente das 16:00 até 22:00 horas durante uma média de 22 dias úteis, obtém-se um consumo mensal de 48,3 KWh, em comparação aos 135,2 KWh referentes à situação atual. Ou seja, o total de potência consumida do modelo proposto apresenta um potencial de redução de aproximadamente 65% do consumo total em relação ao modelo atual.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para a melhor alternativa identificada durante o processo de simulação, a qual foi apresentada neste trabalho, nos permite concluir que as duas ações de requalificação propostas foram relevantes para o aperfeiçoamento do sistema de iluminação da sala em questão. A redistribuição das lâmpadas pelo ambiente foi fundamental para que houvesse maior uniformidade da luz por toda a área de trabalho, fator primordial em se tratando de uma sala de aula.

Por outro lado, uma vez que as lâmpadas atualmente utilizadas possuem baixa eficiência, a substituição das mesmas por equipamentos de menor consumo e maior fluxo luminoso permitiu uma dupla redução. Ou seja, reduziu-se o consumo por unidade, de 32 watts para 30,5 watts, assim como foi possível a redução de 32 unidades fluorescentes para apenas 12 unidades do tipo LED, representando uma mitigação de 65% no consumo de energia. De fato, conforme esclarecem Fonseca e Pereira (2017), "sendo a energia função da potência e do tempo, reduzindo-se uma dessas duas variáveis, reduz-se o consumo energético". Visto que o tempo é uma variável imutável devido ao cronograma de utilização da sala, restava como alternativa a variação da potência e da quantidade.

Por fim, vale ressaltar que o estudo foi realizado para somente uma sala de aula da Cidade Universitária, cujos resultados apontaram um potencial de diminuição do consumo mensal variando de 135,2 KWh para 48,3 KWh. Considerando a tarifa atual de R\$0,7488/Kwh, obtém-se uma redução de R\$65,07 no gasto mensal com a iluminação artificial desta sala, entretanto, o campus é composto por 3 edifícios, cada um com 18 salas similares àquela que foi estudada e, sendo assim, o potencial de redução da conta de energia elétrica chega a R\$3.513,78.

Ainda que pese o custo de aquisição destas novas luminárias, as lâmpadas LED apresentam, em sua grande maioria, vida útil mínima de 30.000 horas. Levando-se em consideração a rotina de uso das salas, conforme demonstrado em seção anterior, cujas lâmpadas permanecem ligadas diariamente por 6 horas durante uma média de 22 dias úteis, obtém-se um

uso mensal de 132 horas. Com isso, dividindo-se a vida útil pelas horas mensais utilizadas, pode-se calcular o tempo de vida em meses destes dispositivos, ou seja, aproximadamente 227 meses. Multiplicando-se o potencial de economia mensal, pelo tempo de vida das novas lâmpadas, encontra-se um total de R\$14.770,89 para uma sala, e R\$797.628,06 para todo o campus, quantia mais que suficiente para financiar a requalificação do espaço. Conclui-se, portanto, que além de tecnicamente e economicamente viável, a melhoria do desempenho lumínico das salas é necessária para o provimento de maior conforto para seus usuários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Iluminação natural. Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição**. NBR 15215-4:2005. Rio de Janeiro - RJ, 2005. Disponível em: <www.abnt.org.br>. Acesso em: 15 set. 2019.

_____. **Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior**. NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Rio de Janeiro - RJ, 2013. Disponível em: <www.abnt.org.br>. Acesso em: 15 set. 2019.

ALRUBAIH, M.S. et al. **Research and development on aspects of daylighting fundamentals**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, pp. 494–505, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.057>>. Acesso em: 18 set. 2019.

DIDONÉ, E.L.; PEREIRA, F.O.R. **Integrated computational simulation for the considerations of daylight in the energy performance evaluation of buildings**. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 4, pp. 139–154, out./dez., 2010. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/12108>>. Acesso em: 20 set. 2019.

DOULOS, L.T. et al. **Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems**. *Energy and Buildings*, 194, pp. 201–217, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033>>. Acesso em: 28 set. 2019.

FONSECA, R.W.; PEREIRA, F.O.R. **Methodological sequence to predict daylighting and its implications for the energy performance evaluation of buildings**. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 1, pp. 55–68, jan./mar., 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100123>>. Acesso em: 10 out. 2019.

MAVROMATIDIS, L. E. et al. **Daylight factor estimations at an early design stage to reduce buildings energy consumption due to artificial lighting: A numerical approach based on Doehlert and Box-Behnken designs**. *Energy*, 65, pp. 488–502, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.028>>. Acesso em: 22 set. 2019.

RAMOS, G.; GHISI E. **Analysis of daylight calculated using the EnergyPlus programme**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 1948–1958, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.040>>. Acesso em: 20 set. 2019.

SALATA, F. et al. **Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources. A case study carried out in academic buildings.** Applied Energy, 169, pp. 250–266, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.022>>. Acesso em: 15 set. 2019.

SANTOS, I.G. et al. **Optimized indoor daylight for tropical dense urban environments.** Ambiente Construído, v. 17, n. 3, pp. 87–102, jul./sep., 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300164>>. Acesso em: 19 set. 2019.

SOORI, P.K.; VISHWAS, M. **Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design.** Energy and Buildings, 66, pp. 329–337, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.039>>. Acesso em: 22 set. 2019.