XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

O IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – CAMPUS GOIABEIRAS

Joicy Araujo da Silva (1); Luísa Galimberti Pires Martins (2); Eduardo Godoy Pignaton (3); Felipe Demuner Magalhães (4); Ricardo Nacari Maioli (5)

(1) Estudante de graduação em arquitetura e urbanismo, joicyaraujo.s@hotmail.com, R. Mensageiro da Paz, 7, Santa Clara, Vila Velha, ES, CEP 29113-697

(2) Estudante de graduação em arquitetura e urbanismo, luisagpmartins@gmail.com, R. Mário Benezath, 98, Santa Cecília, Vitória, ES, CEP 29043-285

(3) Engenheiro eletricista, eduardo.pignaton@ufes.br, UFES, Av. Fernando Ferrari, 514, Campus Universitário, Goiabeiras, Vitória, ES, CEP 29075-910, (27) 99932-2260

(4) Me, engenheiro eletricista, felipe.magalhaes@ufes.br, UFES, Av. Fernando Ferrari, 514, Campus Universitário, Goiabeiras, Vitória, ES, CEP 29075-910, (27) 99988-5672

(5) Me, arquiteto e urbanista, ricardo.maioli@ufes.br, UFES, Av. Fernando Ferrari, 514, Campus Universitário, Goiabeiras, Vitória, ES, CEP 29075-910, (27) 99941-4291

RESUMO

A busca pela eficiência energética e sustentabilidade representa uma questão global cada vez mais pertinente e, no Brasil, esforços para otimizar o setor de iluminação pública têm sido recorrentes, tendo em vista seu consumo energético significativo. Nesse sentido, este artigo objetiva avaliar o impacto energético do novo sistema de iluminação pública projetado para o campus de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo. Um levantamento *in loco* sobre o sistema instalado indicou uma não adequação às demandas do campus e, portanto, a necessidade de sua otimização. Para tal, foi realizado um projeto de iluminação com o auxílio do *software* DIALux, seguido da comparação entre seu consumo de energia estimado e o da instalação existente. A análise do projeto revelou uma redução estimada no consumo de energia elétrica de até 80%, considerando a iluminação nas vias de tráfego de pedestres e veículos motorizados. A substituição e complementação do sistema de iluminação existente pela tecnologia LED possibilitará, portanto, um aumento da eficiência energética do sistema e uma redução do custo mensal com energia elétrica destinada à iluminação do campus.
Palavras-chave: eficiência energética, projeto luminotécnico, iluminação pública.

ABSTRACT

The search for energy efficiency and sustainability presents it self as an increasingly relevant global issue and, in Brazil, the efforts to optimize the public lighting department, have been recurrent, owing to its significative energy consumption. In this regard, the objetc of the article is to evaluate the energy impact of the new public lighting system which the project has been granted to the Federal University of Espírito Santo, Goiabeiras campus. An on-site survey about the installed system has indicated a non-compliance to campus demands and, therefore, requires needs for optimization. With the aid of DIALux software the following lighting project was executed, followed by the comparison between its estimated energy consumption and that of the existing installation. The analysis of the project has revealed an estimated reduction in electricity consumption up to 80%, considering lighting in pedestrian and motor vehicle traffic lanes. The replacement and supplementation of the existing lighting system by LED technology will therefore enable an increase in energy efficiency of the system and a reduction of the monthly cost with electric energy destinated for the illumination of the campus.
Keywords: energy efficiency, lighting design, public lighting.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação pública é fundamental para a melhoria da qualidade de vida da população, posto que, entre outros aspectos, contribui para a segurança pública, o tráfego de veículos e pedestres, bem como orienta os percursos (MASCARÓ, 2006; PROCEL, 2013). O setor representa cerca de 19% do consumo global de energia elétrica (Agência Internacional de Energia, 2006) e, segundo Silva (2011), a poluição luminosa tem sido uma grande preocupação para o setor, pois representa um desperdício de luz e energia.

Por outro lado, a deficiência na iluminação pode favorecer a criminalidade. Ruas bem iluminadas podem contribuir para a prevenção do crime (BOYCE, 2014) e tendem a fazer as pessoas se sentirem mais seguras (PEÑA GARCIA et al., 2015). Além disso, segundo Tregenza e Loe (2015), poder ser visto contribui para essa sensação. Nesse contexto, esforços para melhorar a iluminação urbana têm proporcionado uma oportunidade de reduzir os custos financeiros e impactos ambientais. Autoridades nacionais e locais de diversos países reconheceram rapidamente o potencial de economia do setor tomando medidas como a instalação de Diodos Emissores de Luz (LEDs) que consomem menos energia que as lâmpadas convencionais (GASTON, 2013).

No Brasil, a iluminação pública representa uma parcela significativa no consumo de energia elétrica, de acordo com os dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2017). Para promover a eficiência energética do setor, o Governo Federal lançou o Programa ReLuz que desde 2016 tem focado na iluminação pública a LED e incentivado as prefeituras a desenvolverem projetos utilizando a tecnologia (PROCEL, 2018).

A otimização do sistema de iluminação é uma realidade cada vez mais presente no Brasil e no mundo e (BOYCE, 2014) tem se tornado cada vez mais eficiente. Segundo Silva (2011), a tecnologia é uma fonte econômica de iluminação artificial e (SILVA, 2011) segue ainda, os princípios de sustentabilidade. Acrescenta ainda, que a iluminação pública deve ser precisa e direcionada e os LEDs possuem a característica necessária para realizar esse trabalho com eficiência.

Nesse sentido, resultados promissores têm sido alcançados com a substituição de lâmpadas convencionais pela tecnologia LED. Ansis Avontins et al. (2014) indicaram em sua pesquisa que uma iluminação pública em LED de qualidade pode promover até 47% de economia de energia em detrimento de luminárias de vapor de sódio em alta pressão.

Um outro estudo comparativo, realizado por Trapano et al. (2013), entre as tecnologias de iluminação LED e vapor metálico (HID) também demonstrou resultados favoráveis aos LEDs em economia de energia e eficiência energética. Os autores observaram, ainda, que isso ocorre porque os LEDs necessitam de menor iluminância inicial pelo menor fator de depreciação, enquanto as lâmpadas HID requerem maior iluminância inicial devido a maior depreciação e a limitação tecnológica. Além disso, segundo Silva (2011), as lâmpadas de vapor metálico destinadas à iluminação pública, apesar do ótimo IRC, possuem baixa durabilidade, e por isso nunca se firmaram como unanimidade no setor.

Este último tipo de lâmpada se faz presente hoje na iluminação pública do Campus Alaor de Queiroz Araújo, também conhecido como campus de Goiabeiras, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O atual sistema de iluminação das vias destinadas à circulação de veículos no local é composto por lâmpadas de vapor metálico de 250 W. Já a iluminação das vias de pedestres foi executada com soluções distintas, mas, em sua maioria, é composta por postes baixos com lâmpadas HID de 70 W. Outras áreas internas do campus são iluminadas por postes altos com lâmpadas HID de 400 W.

Entretanto, esse padrão de soluções do sistema de iluminação pública parece ter sofrido uma alteração significativa nos últimos anos, visto que o campus sofreu diversas alterações em seu espaço físico, com a construção de novas edificações nas duas últimas décadas, apresentando também modificação de acessos e vias de pedestres. Todavia, o sistema de iluminação de alguns desses trechos não acompanhou tais alterações, proporcionando uma iluminação deficiente em algumas regiões do campus. Em virtude disso, diversos projetores com lâmpadas de vapor metálico de 400 W foram instalados, provisoriamente, em locais cuja iluminação era precária, a fim de proporcionar maior segurança aos usuários no período noturno.

Visto a necessidade de melhoria da eficiência desse sistema, um novo projeto foi elaborado para o campus de Goiabeiras, com base na NBR 5101 (ABNT, 2012). O projeto propôs a substituição e otimização do sistema de iluminação das áreas externas pela tecnologia LED e foi realizado com auxílio de software de simulação. Foi pautado na busca pela eficiência energética, redução do impacto ambiental, economia de energia e segurança no sistema de iluminação pública, seguindo o interesse global.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o impacto energético da substituição e complementação do sistema de iluminação pública projetado para o campus de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo com auxílio do *software* DIALux.

3. MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas principais. A primeira, referente à elaboração do projeto luminotécnico, detalhada a seguir, e a segunda, desenvolvida após a conclusão do projeto, que trata da comparação entre o consumo de energia estimado da proposta de projeto e da instalação existente no campus.

3.1. O projeto luminotécnico

O projeto luminotécnico foi desenvolvido nas seguintes etapas:

1. Levantamento das luminárias existentes no campus universitário;
2. Análise do sistema atual para verificação das características das instalações;
3. Consulta à legislação pertinente, para verificação dos requisitos mínimos de iluminação para vias públicas;
4. Seleção das luminárias;
5. Simulações através do software DIALux 4.13, com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 5101 (ABNT, 2012), e a verificação de dados como curvas fotométricas das luminárias e valores obtidos de iluminância das vias;
6. Simulação do projeto completo com as luminárias definidas para cada situação;
7. Viabilidade Financeira.

3.1.1 Levantamento das luminárias existentes no campus universitário

O levantamento em campo forneceu dados como o quantitativo dos postes e projetores instalados nas calçadas, vias, estacionamentos e grandes áreas do campus, conforme as Tabelas Tabela e Tabela . Posteriormente, foi realizada uma representação gráfica do sistema em planta baixa para auxiliar na análise e na concepção do novo projeto.

Tabela 1 – Relação dos postes e projetores das vias destinadas ao pedestre - UFES campus Goiabeiras.

Altura de montagem	**3-4 m**	**7 m**	**12 m**	**Projetores**	
N° total de luminárias	138	101	46	529	
Potência por luminária (W)	70	250	250	400	**Potência total instalada (kW)**
Potência instalada por tipo (kW)	9,66	25,25	11,50	211,60	258,01

Tabela 2 – Relação dos postes e projetores das vias motorizadas - UFES campus Goiabeiras.

Altura de montagem	**7 m**	**12 m**	**Projetores**	
N° total de luminárias	207	28	123	
Potência por luminária (W)	250	250	400	**Potência total instalada (kW)**
Potência instalada por tipo (kW)	51,75	7,00	49,20	107,95

3.1.2 Análise do sistema atual

A análise do sistema de iluminação instalado no campus foi realizada com base na planta baixa gerada por meio do levantamento e visitas em campo. No primeiro momento, foram realizadas medições *in loco*, a fim de verificar a distância média e máxima entre os postes para avaliar as condições da substituição e implantação de novos pontos de iluminação. Para cada tipo de poste foram avaliadas as condições físicas das instalações, a potência instalada e a ocorrência de obstruções pela arborização. Para isso, realizou-se majoritariamente uma análise visual com registros fotográficos em horários diurnos e noturnos e consulta aos dados técnicos das luminárias e lâmpadas instaladas.

3.1.3 Requisitos mínimos de iluminação para vias públicas da NBR 5101 (ABNT, 2012)

Conforme as tabelas fornecidas pela referida norma, considerando o aumento do fluxo de veículos em determinados horários, foi definida a categoria V4 de vias locais com volume de tráfego médio. A norma estabelece requisitos de iluminância média mínima de 10 lux e o fator de uniformidade mínimo de 0,2 para a

classe V4. Para as vias destinadas aos pedestres, a classificação do tráfego foi definida como média, considerando o fluxo nos horários de pico. A classe de iluminação foi identificada como P3, que diz respeito às vias de uso noturno moderado por pedestres. A norma ainda estabelece 5 lux de iluminância média e 0,2 como fator de uniformidade mínimo para este tipo de via. Para permitir o mínimo de orientação, a norma estabelece o valor mínimo de 1 lux sobre a superfície da via.

A NBR 5101 especifica a quantidade de pontos na malha de cálculo que será usada nas simulações e verificará se o projeto atende aos requisitos mínimos de iluminância. São exigidos 17 pontos na direção longitudinal por 5 pontos na direção transversal da via, para cada faixa de rolamento, ou seja, no caso do anel viário de veículos motorizados da UFES, que mantém duas faixas em seu percurso, contabilizam-se 10 pontos na transversal. Utilizou-se o mesmo método de medição para as vias de pedestres de 3 m de largura, visto que têm iluminação própria, ou seja, não são iluminadas de modo secundário pelas mesmas luminárias que atendem às vias de veículos automotores.

O esquema de malhas está representado na

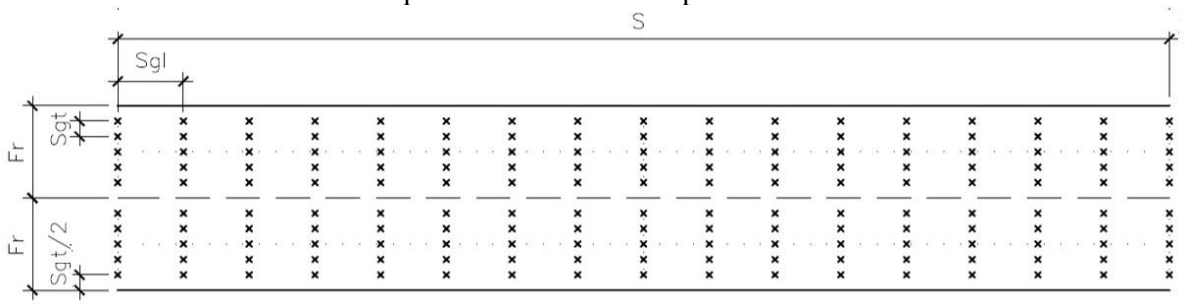

Figura , onde S_{gl} é o espaçamento longitudinal entre os pontos, S_{gt} é o espaçamento transversal, S é o espaçamento entre os postes e fr é a largura da faixa de rolamento. Para os trechos de vias de 7 m de largura, S_{gl} = 2,5 m e S_{gt} = 0,7 m; para os trechos de vias de 10 m de largura, S_{gl} = 2,5 m e S_{gt} = 1,0 m; e para as vias de 3 m de largura, S_{gl} = 1,125 m e S_{gt} = 0,6 m.

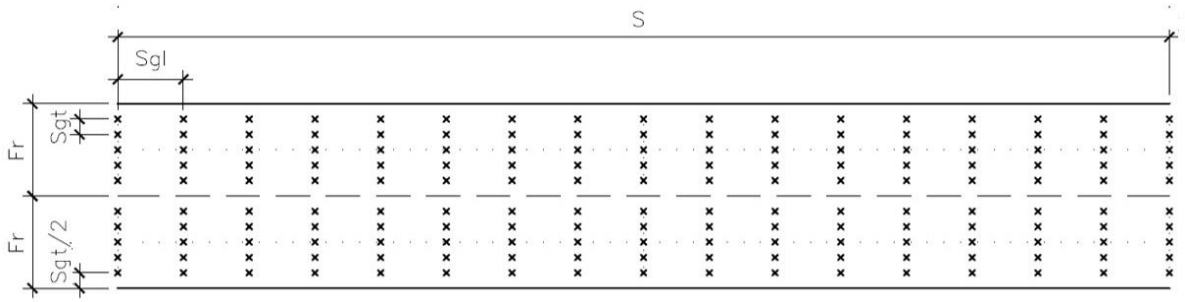

Figura 1 – Malha de cálculo para verificação dos níveis de iluminância (adaptada da ABNT, 2012).

3.1.4. Seleção das luminárias

Foi realizada uma busca nos principais fabricantes de luminárias para iluminação pública a fim de se encontrar modelos compatíveis com as exigências do projeto. Após a seleção, os modelos, os foram simulados em software, num trecho típico de via de pedestres e veículos, a fim de verificar o atendimento à norma. Em seguida, foi definido um modelo cujas características atendessem aos requisitos prévios, mas que tivesse o pior desempenho dentre as luminárias dos fabricantes analisados a fim de comparar com o sistema de iluminação atual presente no campus (Tabela 3).

Tabela 3 – Potência das luminárias selecionadas e existentes - UFES campus Goiabeiras

Altura de montagem	**3m**	**4m**	**7m**	**12m**
Luminárias selecionadas (LED)	-	60 W	119,4 W	180 W
Luminária Existente (HID)	70 W	70 W	250 W	400 W

3.1.5. Simulações dos trechos de vias no DIALux

Para as simulações consideraram-se as distâncias reais verificadas pelos levantamentos *in loco* a fim de analisar o atendimento do novo sistema na condição estabelecida, bem como avaliar a necessidade da implantação de novos postes. As simulações foram realizadas com as luminárias selecionadas e algumas configurações de instalação foram exploradas, como o ângulo de abertura e o braço extensor.

Por outro lado, para a implantação dos postes destinados ao pedestre, foram realizadas simulações com a luminária para definir uma faixa de distância ideal. Dessa forma, procurou-se obter os resultados mais satisfatórios que atendessem aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma. A partir das simulações, foram obtidos, entre outros dados, o valor de iluminância média mínima, o fator de uniformidade mínimo e a malha contendo os valores medidos de iluminância por ponto, para cada configuração de instalação explorada para cada tipo de via e poste.

3.1.6. Simulação do projeto completo conforme as luminárias definidas

Definidas as luminárias e realizadas as simulações dos trechos de cada tipo de via, foram realizadas simulações do projeto completo de iluminação das vias de pedestre e das vias destinadas à circulação motorizada. As simulações permitiram avaliar o atendimento do sistema como um todo e, por isso, foi possível verificar possíveis pontos falhos, dadas as condições reais das vias, como a presença de curvas e arborização. Dessa forma, para viabilizar a qualidade do atendimento do novo sistema, foram realizadas as modificações conforme a identificação da necessidade.

3.1.7. Viabilidade financeira

Para determinar a viabilidade financeira da implementação do projeto, foram considerados os dados de potência elétrica e quantitativos das luminárias instaladas atualmente e das luminárias propostas no projeto luminotécnico. Com base nestes dados, e considerando que as luminárias ficarão acesas aproximadamente 12 horas por dia, todos os dias do ano, calculou-se a redução de energia mensal proveniente da substituição, em kWh. A partir deste dado, verificou-se o custo, em R$, do kWh praticado pela concessionária de energia elétrica, obtendo-se a economia mensal. Considerando-se os custos estimados para implantação do projeto, calculou-se então o *payback* do empreendimento, verificando-se a partir de quantos meses após a implementação o investimento estaria pago, iniciando-se o período em que toda economia seria "lucro".

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir estão apresentadas as análises referentes às características do sistema de iluminação instalado no campus, as simulações dos trechos de cada tipo de via e poste e do projeto completo.

De acordo com o levantamento das características das circulações destinadas ao pedestre, motorizadas e estacionamentos e (Figura 2), foram identificadas diferentes larguras que influenciam no atendimento do sistema.

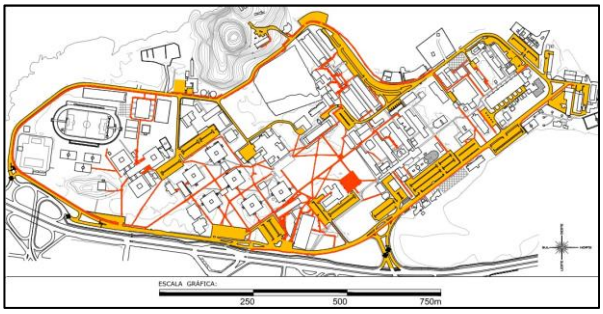

Figura 2 – Mapa viário - vias destinadas ao pedestre (laranja), vias motorizadas e estacionamentos (amarelo).

4.1. Análise do levantamento

Algumas ocorrências foram identificadas nos três tipos de postes, como a insuficiência quantitativa, a carência de manutenção (Figura 3) e a obstrução pela arborização. Tais ocorrências interferem na eficiência do atual sistema.

A degradação física e a deficiência quantitativa foram verificadas em diversas instalações, especialmente na iluminação destinada ao pedestre que é atendida pelos postes com altura de 4 metros. Destaca-se ainda, que o sistema não abrange todos os percursos, contribuindo, portanto, para o aumento da criminalidade e sensação de insegurança no campus.



Figura – À esquerda, um poste de 12m com degradação da luminária, e à direita, local mal iluminado no campus.

Ademais, a poluição luminosa é recorrente em tais instalações devido o design das luminárias que corrobora na emissão da luz sem controle direcional, como observado na Figura 4. Os postes com altura de 7 metros, destinados às vias de circulação motorizada, situam-se, em sua maioria, no anel viário e estacionamentos e estão distribuídos entre 30 e 40 metros. Em complemento à iluminação para pedestre, dispõem-se em alguns locais mais abertos. As instalações apresentam diferentes configurações de braço

extensor e ângulo de abertura, e diversos refletores têm sido instalados para complementar a deficiência de iluminação, conforme a Figura 5.



Figura 4 – Poste de 4m destinado ao pedestre.



Figura 5 – Refletores em poste de 7m.

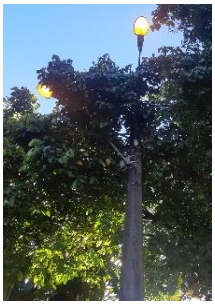

Figura 6– Obstrução em poste de 7m.

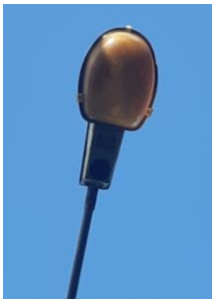

Figura 7 – Opacidade do difusor em poste de 7m.

Além disso, foram observados diversos casos de obstrução pela arborização e acendimento em horários diurnos, como mostra a Figura 6. Outra patologia diagnosticada foi a ocorrência da opacidade do difusor (Figura 7), que interfere na qualidade da iluminação.

4.2. Análise das simulações

A partir das simulações dos trechos, foram registrados e avaliados os valores de iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo. Foram gerados os níveis de cinzento e malhas (

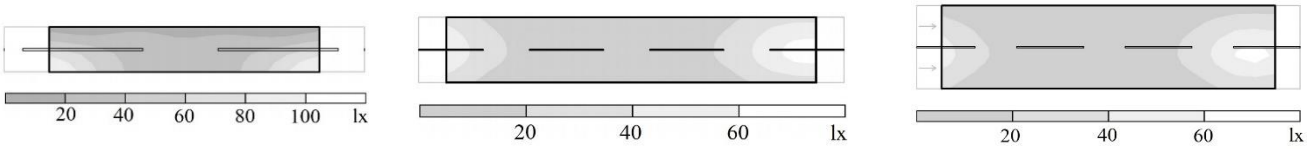

Figura 8) contendo os valores medidos de iluminância por ponto ao longo dos eixos x e y entre os postes para melhor percepção da distribuição da iluminação nos trechos. Tais imagens representam ainda o fluxo direcional característico da tecnologia LED em detrimento às luminárias convencionais.

4.2.1. Análise das simulações dos trechos das vias

A iluminação destinada ao pedestre obteve valores de iluminância média mínima de 36 lux e fator de uniformidade mínimo de 0,266, superiores aos estabelecidos pela norma. A primeira malha referente à Figura 7 mostra que nenhum ponto ficou abaixo do valor mínimo de 5 lux determinado pela norma. A iluminação das vias com largura de 7 m e 10 m destinadas aos veículos obteve valores de iluminância média mínima de 21 lux e 18 lux, respectivamente, e fator de uniformidade mínimo de 0,293 e 0,310, respectivamente. Tais valores foram superiores aos estabelecidos pela norma.

2.700	18	15	12	15	20	20	20	18	18	18	18	18	14	9.63	11	15	18
2.100	35	30	29	30	29	26	23	21	21	21	23	25	27	26	24	28	35
1.500	62	57	47	41	35	30	26	23	23	24	26	31	36	41	46	56	62
0.900	83	74	59	48	39	32	27	24	24	25	28	34	41	50	60	75	83
0.300	94	83	65	52	41	33	28	25	24	25	29	35	43	54	67	85	94
m	**0.529**	**1.588**	**2.647**	**3.706**	**4.765**	**5.824**	**6.882**	**7.941**	**9.000**	**10.059**	**11.118**	**12.176**	**13.235**	**14.294**	**15.353**	**16.412**	**17.471**

6.650	31	21	14	11	8.79	8.22	7.78	7.12	7.87	8.51	9.09	11	14	21	29	37	37
5.950	37	25	16	12	9.70	8.73	8.13	7.33	8.11	8.91	9.94	13	16	24	35	46	46
5.250	43	28	18	14	11	9.23	8.36	7.40	8.22	9.32	11	14	18	27	40	53	55
4.550	47	30	20	15	12	9.71	8.55	7.47	8.35	9.67	12	14	20	29	45	60	61
3.850	50	32	21	15	12	10	8.71	7.51	8.49	9.93	12	15	21	31	47	64	66
3.150	51	33	22	15	12	10	8.71	7.46	8.47	10	12	15	21	31	48	65	67
2.450	49	31	20	15	11	10	8.54	7.34	8.29	9.90	11	14	20	29	46	62	64
1.750	43	27	18	13	11	9.46	8.25	7.16	7.97	9.27	11	13	17	26	40	54	56
1.050	35	23	15	11	9.61	8.79	7.78	6.79	7.50	8.56	9.52	11	14	22	33	43	45
0.350	29	19	12	9.39	8.39	7.99	7.13	6.24	6.83	7.71	8.28	9.22	12	18	27	34	36
m	**1.176**	**3.529**	**5.882**	**8.235**	**10.588**	**12.941**	**15.294**	**17.647**	**20.000**	**22.353**	**24.706**	**27.059**	**29.412**	**31.765**	**34.118**	**36.471**	**38.824**

9.500	13	9.40	7.30	6.19	5.83	5.81	5.92	5.86	6.29	6.28	6.57	7.39	8.97	12	15	17	16
8.500	19	14	10	7.92	7.29	7.11	6.86	6.68	7.45	7.58	8.09	9.30	12	17	22	25	24
7.500	27	18	13	9.75	8.45	8.05	7.50	7.20	8.12	8.58	9.54	12	16	23	32	38	35
6.500	34	22	15	12	9.54	8.71	7.91	7.40	8.52	9.40	11	14	19	28	42	51	47
5.500	40	26	18	13	11	9.23	8.10	7.51	8.78	10	12	16	22	33	50	62	56
4.500	44	28	19	14	11	9.58	8.23	7.57	9.08	11	13	17	24	36	55	68	62
3.500	43	27	18	14	11	9.64	8.12	7.45	8.98	11	12	16	23	35	54	68	61
2.500	36	23	16	12	10	9.05	7.77	7.18	8.41	9.67	11	14	19	30	45	58	52
1.500	28	18	12	9.66	8.80	8.13	7.06	6.55	7.52	8.39	9.06	11	14	23	34	42	38
0.500	22	14	9.25	7.60	7.34	7.06	6.12	5.71	6.55	7.10	7.32	8.24	11	17	26	31	29
m	**1.176**	**3.529**	**5.882**	**8.235**	**10.588**	**12.941**	**15.294**	**17.647**	**20.000**	**22.353**	**24.706**	**27.059**	**29.412**	**31.765**	**34.118**	**36.471**	**38.824**

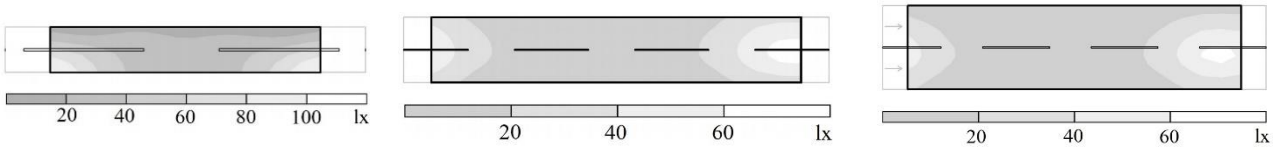

Figura 8 – A primeira, segunda e terceira malha de pontos referem-se às vias destinadas aos pedestres com largura de 3 m; vias motorizadas com largura de 7 m e 10 m, respectivamente; abaixo, os níveis os níveis de cinzento das vias com largura de 3m, 7m e 10m, respectivamente.
Fonte: Simulação DIALux realizada pelos autores.

4.2.2. Análise das simulações dos projetos

As simulações dos projetos de iluminação das vias de circulação motorizada e de pedestre foram realizadas concomitantemente às modificações à medida em que foram sendo identificados os pontos falhos a partir da análise de trechos para melhor atendimento do novo sistema. As Figuras 9 e 10 apresentam a distribuição por completo da iluminação com representação em cores falsas das vias destinadas ao pedestre e de circulação motorizada, respectivamente. Uma análise aproximada dos trechos, à direita das respectivas figuras, permitiu verificar, a partir da escala gráfica de iluminância, que os valores atenderam às exigências da norma.

Dessa forma, foi possível propor por completo um sistema de iluminação que atendesse aos requisitos mínimos da NBR 5101 mesmo utilizando equipamentos que se enquadram no rol dos que apresentam os piores desempenhos entre os fornece dores buscados.

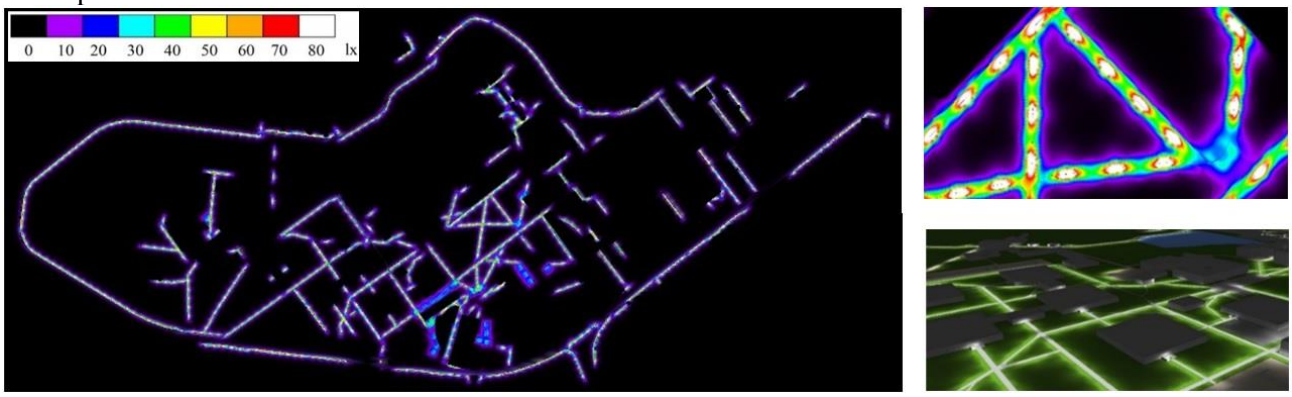

Figura 9 – Simulação do projeto luminotécnico das vias destinadas ao pedestre.

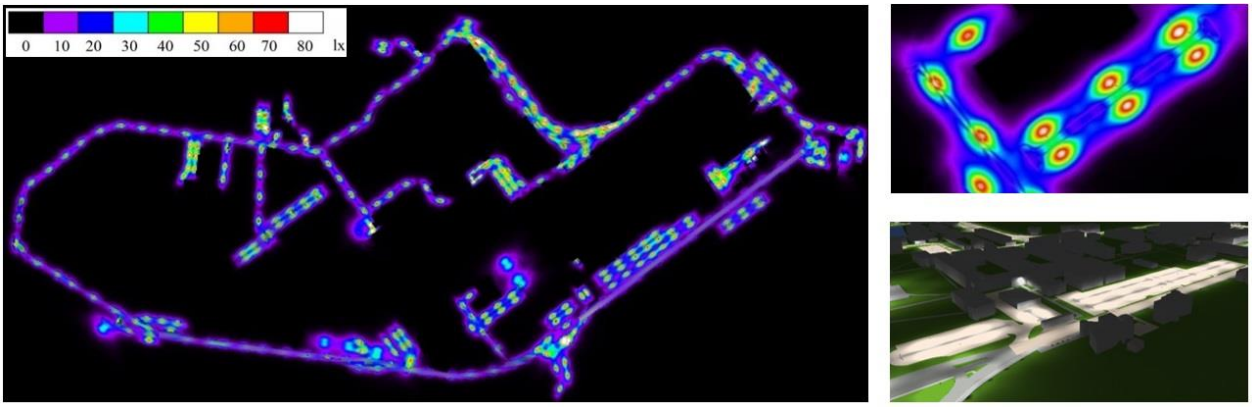

Figura 10 – Simulação do projeto luminotécnico das vias destinadas à circulação motorizada.

Nas vias de pedestres do campus há quatro tipos de iluminação, sendo que nem todos são adequados ao referido uso. Assim, o projeto apresenta 579 luminárias a 4 m de altura e apenas 6 luminárias a 7 m para as calçadas, porque são as mais apropriadas e que geram maior sensação de segurança, devido à melhor qualidade lumínica. O fornecimento de potência total será de 35,46 kW, conforme observado na Tabela 4, enquanto hoje esse valor é de 258,01 kW.

Em relação às vias de tráfego motorizado, atualmente são fornecidos 107,95 kW de potência elétrica, distribuídos entre projetores e luminárias de altura de montagem de 7 e 12 metros. Para esse uso, o projeto prevê a redução da potência instalada em postes de 7 m de 51,75 kW para 34,15 kW e em postes de 12 m a redução vai de 7,00 kW para 4,32 kW (Tabela 5).

Tabela 4 – Relação dos postes destinados ao pedestre - UFES campus Goiabeiras – Projeto.

Altura de montagem	**4 m**	**7 m**	**Potência total instalada (kW)**
N° total de luminárias	579	6	
Potência por luminária (W)	60	119,4	
Potência instalada por tipo (kW)	34,74	0,75	35,46

Tabela 5 – Relação dos postes destinados às vias motorizadas - UFES campus Goiabeiras – Projeto.

Altura de montagem	**7 m**	**12 m**	**Potência total instalada (kW)**
N° total de luminárias	286	24	
Potência por luminária (W)	119,4	180	
Potência instalada por tipo (kW)	34,15	4,32	38,47

Além disso, não há proposta de iluminação por projetores, que são grandes consumidores de energia e não fornecem iluminância satisfatória. Sendo assim, consegue-se obter a redução de 260,80 kW de potência instalada apenas com a retirada dos projetores existentes atualmente no campus.

4.3. Análise da viabilidade financeira

A partir do levantamento das luminárias instaladas e da elaboração do projeto, obteve-se a potência elétrica instalada e a previsão da nova potência elétrica, após a implementação do projeto. Com base nestes valores, e considerando uma média de 12 horas por dia em que as luminárias ficam acesas, é possível calcular a energia elétrica consumida para iluminação pública, conforme a Equação 5. Estes resultados podem ser visualizados na

Tabela 6.

$$E = P * t \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:
E é a energia consumida [kWh];
P é a potência instalada [kW];
t é o tempo [h].

Tabela 6 – Relação de potência e energia elétrica da iluminação pública da UFES – campus Goiabeiras.

Cenário	Situação Atual	Projeto Elaborado
Potência elétrica instalada (kW)	365,96	73,93
Energia elétrica consumida por dia (kWh)	4.391,52	887,16
Energia elétrica consumida por mês (kWh)	131.745,60	26.614,80

Desta forma, pode-se verificar que a substituição das luminárias acarretará em uma redução de 80% do consumo de energia elétrica, correspondente a 105.130,80 kWh por mês. A UFES é um consumidor de energia elétrica classificado como A3a (atendimento em tensão de 34,5 kV), pertencendo à modalidade tarifária verde. De acordo com a Resolução Homologatória nº 2.432 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 7 de agosto de 2018 (ANEEL, 2018), a tarifa do kWh de energia para esta classe e modalidade é de 1,7616 R$/kWh no período de Ponta (18:00 às 21:00) e de 0,37029 R$/kWh no período Fora Ponta (restante do dia), sendo acrescidos a estes valores os impostos cabíveis.

É importante destacar que não haverá economia proporcionada por redução de demanda kW. O motivo para tal está atrelado à característica da curva de carga do campus de Goiabeiras, que possui pico de demanda na parte da tarde em torno das 14 h e 15 h, a depender do dia. Por se tratar, em sua maioria, de instalações prediais voltadas à administração e educação, as instalações utilizam muitos sistemas de climatização, o que por sua vez, eleva o consumo nesses momentos do dia. Como a redução de consumo atribuído ao *retrofit* da iluminação externa afetará a curva de carga durante a noite, conclui-se que a demanda a ser contratada não sofrerá alteração, portanto, não afetará os cálculos da viabilidade financeira.

Por força do art. 64 da Lei nº 9.430, de 27 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996), o imposto IRPJ, e as contribuições CSLL, COFINS e PIS/PASEP incidem diretamente na fonte, quando órgãos, autarquias e fundações da administração pública federal realizam pagamentos pela prestação de serviços. Assim, há uma incidência inferior destes impostos sobre a tarifa de energia elétrica da UFES, em comparação com os demais consumidores. Considerando estas retenções e a aplicação de 25% de ICMS, as tarifas de kWh efetivamente pagas pela UFES correspondem a 2,20963 R$/kWh no período de Ponta e 0,46447 R$/kWh no período Fora Ponta. Assim, pode-se calcular o custo mensal da energia elétrica consumida pela iluminação pública, conforme disposto na tabela 7.

Tabela 7 – Relação de custo da energia elétrica da iluminação pública das áreas externas da UFES – campus Goiabeiras.

Cenário	Situação Atual	Projeto Elaborado
Custo da energia elétrica por dia (R$)	3.955,71	799,12
Custo da energia elétrica por mês (R$)	118.671,17	23.973,55

Com base nestes cálculos, pode-se verificar que a economia mensal com a substituição do sistema de iluminação atual pelo projetado é de R$ 94.697,62. A estimativa de custo de implantação do sistema projetado é de R$ 1.539.552,03. Este montante foi obtido considerando os valores vigentes na Ata de Registro de Preços nº 017/2018, proveniente do Pregão Eletrônico SRP nº 002/2018 da UFES.

Considerando o disposto na Orientação Técnica nº 004/2012 do Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (IBRAOP, 2012), os quantitativos dos serviços foram estimados por meio de índices médios (Orçamento Preliminar – ±20% de precisão), enquanto que os preços dos serviços foram obtidos por meio de licitação (Orçamento Analítico Definitivo – ±5% de precisão). Assim, estipula-se que a precisão desta estimativa se localiza em uma faixa intermediária a estas referências. Portanto, considera-se que esta estimativa de custos tem uma faixa de precisão de ±10%.

Segundo Pietro e outros (2018), a partir do custo de implantação e da economia mensal, pode-se obter a curva de retorno do investimento. O *payback* do sistema proposto é calculado por meio da Equação 6. Desta forma, verifica-se que o saldo acumulado se torna positivo após 16 meses, tornando o empreendimento economicamente viável, com retorno financeiro de 9,8 milhões de reais em dez anos (Figura 11).

$$\mathrm{Pb} = \frac{\mathrm{In}}{\mathrm{Ec}} \qquad \text{Equação 6}$$

Onde:
Pb é o tempo de *payback* [meses];
In é o custo de investimento [R$];
Ec é a economia mensal após implantação [R$/mês].

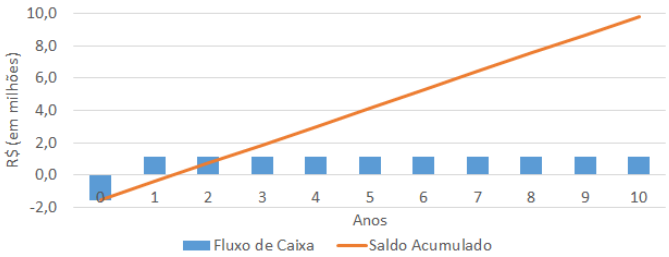

Figura 11 – Gráfico de retorno do investimento.

5. CONCLUSÕES

Após os estudos sobre a atual situação da iluminação pública no campus Goiabeiras e a conclusão do novo projeto luminotécnico, é possível avaliar o grande impacto energético ocasionado pela substituição do sistema lumínico. Conclui-se que redução no consumo de energia elétrica nas vias destinadas a veículos motorizados será de 64%, se comparada ao cenário atual. Já para as vias destinadas a circulação de pedestres, essa redução no consumo chega a 86% na condição de cumprimento das especificações do projeto.

Observou-se ainda, diante das condições patológicas da atual instalação, identificadas *in loco,* e da sua baixa eficiência, a evidência da necessidade de sua substituição por um sistema de baixa manutenção, alta durabilidade e custo-benefício, oferecidas pela tecnologia LED. Outra questão relevante resultante desse estudo é a importância da análise e simulação luminotécnica de cada tipo de via, para que o novo sistema atenda da melhor forma suas reais necessidades específicas.

Além disso, conclui-se que o projeto de iluminação proposto se torna viável à Universidade devido ao tempo de *payback* de 16 meses ser considerado baixo, ou seja, apesar do alto custo de investimento inicial, a economia no consumo de energia elétrica compensa mensalmente uma parcela satisfatória do valor investido.

Por fim, essa análise mostra que a substituição e complementação da iluminação pública do campus pela tecnologia LED, poderá tornar o sistema mais eficiente, ainda que se aumente a quantidade de luminárias e melhore a qualidade da iluminação. Tal fato possibilitará uma economia financeira que poderá ser atribuída para outras finalidades essenciais à Universidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101:** Iluminação Pública: Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Homologatória nº 2.432, de 7 de agosto de 2018. **Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2018, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A. – EDP ES, e dá outras providências**. Brasília, 2018.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Light's Labour's Lost**. **Policies for Energy-efficient Lighting.** France, 2006.

AVOTINS, A. . **Towards smart street LED lighting systems and preliminary energy saving results**. *In*: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING OF RIGA TECHNICAL UNIVERSITY (RTUCON), 2014, Riga, Latvia. **Anais** [...]. [*S. l.*]: IEEE, 2014. p. 130-135.

BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. 3.ed. New York: Taylor & Francis Group, 2014.

BRASIL. Lei nº 9.430, de 27 de dezembro de 1996. **Dispõe sobre a legislação tributária federal, as contribuições para a seguridade social, o processo administrativo de consulta e dá outras providências.** Brasília, 1996.

_____. MME - Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. EPE, 2018. P. 0.

ELETROBRAS. **Resultados PROCEL,** 2018. Ano base 2017. p. 39-40.

GASTON, K. J. **Sustainability: A green light for efficiency**, Nature, vol. 497, p. 560–561, 2013.

IBRAOP – INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. Orientação Técnica nº 004/2012. **Precisão do Orçamento de Obras Públicas**. Florianópolis, 2012.

MASCARÓ, L. **A Iluminação do Espaço Urbano.** 1 ed. Porto Alegre: Masquatro, 2006. p. 17-151

PEÑA-GARCÍA, A.; HURTADO, A.; AGUILAR-LUZÓN, M.C. Impact of public lighing on pedestrians' perception of safety and well-being. **Safety Science**, n° 78, 2015, p. 142-148.

PIETRO, L. W.; BALVEDI, N. M. W.; GIGLIO, T. G. F.; **Análise de soluções de eficiência energética para o sistema de iluminação de salas de aula em edificação pública.** *In:* Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XVII, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu, 2018.

ROSITO, L. H., SIQUEIRA, M. C., DAVID, R. M. e BLASO, S. L. M. Iluminação Pública no Brasil – histórico, conceituação e regulamentação. *In*: **Iluminação Eficiente – Iniciativas da Eletrobrás Procel e Parceiros**. Eletrobrás Procel, Rio de Janeiro, 2013. P. 156.

SILVA, M. L. **Iluminação - Simplificando o Projeto.** 1 ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

_____. **LED – A Luz dos Novos Projetos.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

TRAPANO, P.; GÓIS, A.; GUIMARÃES, T.; BENEDETTO, G. **Estudo comparativo entre as tecnologias de iluminação LED e vapor metálico (HID) 250W em pistas de abastecimento de postos de serviços.** *In:* Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, XII., 2013, Brasília. **Anais** [...]. Brasília, 2013.

DIAL GMBH, **DIALux**. Versão 4.13. [North Rhine-Westphalia]: DIAL, c2016.