

Análise da economia de energia com dimerização quando da aplicação da tecnologia *LED* na Iluminação Pública - Estudo de caso: Cidade do Rio de Janeiro

A.P. Fragoso, M.Z. Fortes, D.A.P. Moraes, A.P. Lopes, A.M.E. Pereira

Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ 24210-240

(e-mail: adrianofragoso@id.uff.br) (e-mail: mzamboti01@gmail.com) (e-mail: dyegoapm@id.uff.br)

(e-mail: alecpicancolopes@id.uff.br) (e-mail: am_estrela@id.uff.br)

Abstract: The present work presents a study to improve the energy efficiency of the public lighting system of the city of Rio de Janeiro through the replacement of current discharge technology by LED technology with a proposal for dimerization control. In the First, only the substitution for LED technology was analyzed and in the second the potential of dimerization was explored in improving the energy efficiency of the system. In possession of these scenarios, the study evaluated the energy, economic and environmental impacts.

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo para a melhoria da eficiência energética do sistema de iluminação pública da cidade do Rio de Janeiro através da substituição da tecnologia atual de descarga pela tecnologia LED com uma proposta de controle de dimerização. No primeiro cenário foi analisado apenas a substituição para a tecnologia LED e no segundo foi explorado o potencial da dimerização na melhoria da eficiência energética do sistema. De posse destes cenários, o estudo avaliou os impactos energéticos, econômicos e ambientais.

Keywords: Energy efficiency; LED Technology; Street Lighting; Dimerization; High Intensity Discharge Lamp.

Palavras-chaves: Eficiência Energética; Tecnologia LED; Iluminação Pública; Dimerização; Lâmpada de descarga Alta Pressão.

1. INTRODUÇÃO

O gasto energético com iluminação é responsável por aproximadamente 19% de toda a energia elétrica produzida no mundo e será 80% maior em 2030, se o crescimento econômico mundial continuar seguindo as tendências atuais. Para que não haja falta de oferta de energia, são necessários maiores investimentos na geração de energia e na redução da demanda, através de políticas de eficiência energética (Agência Internacional de Energia, 2006).

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, algumas das medidas adotadas para se conter a ineficiência energética são a substituição por tecnologias mais eficientes e a melhor organização, conservação e gestão do uso da energia. Estabelece ainda uma meta de redução de 10% do consumo de energia até de 2030. O potencial de redução de consumo de energia em edificações existentes é de 30%, implementando-se ações de eficiência energética nos sistemas de ar condicionado, iluminação e envoltória (Ministério de Minas e Energia, 2011).

No caso específico da iluminação pública (IP) no Brasil, que representa em torno de 3% do consumo total de energia, ainda existem sistemas antigos de iluminação com lâmpadas de média e baixa eficiência, com grande participação no total de pontos,

com o potencial para se economizar energia pela readaptação de velhos sistemas é da ordem de 60% (PROCEL, 2018).

Com a busca por melhores alternativas de redução do consumo de energia, a tecnologia *LED* vem despontando no cenário mundial como a melhor opção no campo da iluminação, por apresentar altos índices de eficiência energética, vida útil superior a tecnologia de descarga, cerca de 50.000 horas, maior resistência mecânica e facilidade para instalação e manutenção.

No que tange aos projetos de IP, além da eficiência energética, parâmetros como conforto visual, bem-estar e baixa poluição luminosa passaram também a ser buscados para uma melhor satisfação geral dos usuários, de acordo com a ABNT NBR 5101 (ABNT, 2018).

Neste contexto, a tecnologia *LED* torna-se ainda mais interessante, na medida em que suas características luminotécnicas, podem impactar positivamente nos sistemas de iluminação, diminuindo desperdícios de energia e gastos com manutenção. Ao se substituir a tecnologia tradicional de descarga *HID* pela tecnologia *LED*, naturalmente se obtém uma melhora na eficiência do sistema de iluminação e uma consequente economia de energia. Como as luminárias *LED* permitem serem dimerizadas, esse ganho de eficiência energética pode ser maximizado, desde que sejam adotadas metodologias adequadas

e que os requisitos técnicos normativos continuem sendo atendidos.

Através das informações obtidas junto a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, o presente estudo tem como objetivo estimar a economia de energia com a substituição do atual parque de IP *HID* pela tecnologia *LED* e determinar o quanto essa economia pode ser maximizada se forem aplicados controles de dimerização fixa com base nos horários noturnos e os impactos econômicos e ambientais provenientes desses resultados.

2. METODOLOGIA

Considerando que o sistema atual de IP no Brasil é projetado com base no pico do tráfego de automóveis e pedestres, e na norma ABNT NBR-5101, está sendo analisado o aumento da eficiência energética em um sistema de IP pela substituição da tecnologia *HID* por *LED* e economia de energia com dimerização automática fixa em luminárias *LED*, diminuindo os valores de iluminâncias nas vias da Cidade do Rio de Janeiro nos horários de menor movimentação.

Para isso, foram realizadas as seguintes etapas:

- revisão dos requisitos normativos para IP exigidos pela ABNT NBR 5101 Iluminação pública - Procedimento;
- levantamento de trabalhos publicados envolvendo implementação da tecnologia *LED* em vias públicas e controle de dimerização;
- levantamento dos principais perfis viários da cidade do Rio de Janeiro;
- simulação no *software* Dialux para obtenção do melhor enquadramento de potência para substituição da tecnologia *HID* pela *LED*, em atendimento aos valores de iluminâncias exigidos a NBR 5101;
- Construção de cenários;
- análise dos dados obtidos, visando obter os impactos energéticos, econômicos e ambientais provenientes do presente estudo.

3. REQUISITOS NORMATIVOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A IP tem como objetivo principal propiciar visibilidade para segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida, precisa e confortável. Um bom projeto de IP deve prover benefícios econômicos e sociais para seus cidadãos, incluindo: redução dos acidentes noturnos, melhoria das condições de vida, auxílio à proteção policial, facilidade do fluxo do tráfego, destaques a edifícios e obras públicas durante à noite e eficiência energética.

As recomendações mínimas de iluminância e uniformidade são determinadas por classes, de acordo com a função da via, da densidade de tráfego, da complexidade do tráfego e da existência de facilidades para o controle, como por exemplo os semáforos. A Tabela 1 apresenta os requisitos mínimos de iluminância e uniformidade.

Tabela 1 Iluminação e uniformidade

Classe de iluminação	Iluminância média mínima (lux)	Fator de uniformidade mínimo
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Onde:

V1 corresponde a vias de trânsito rápido com volume tráfego intenso; V2 corresponde a vias de trânsito rápido com volume tráfego médio; V3 corresponde a vias coletoras com volume de tráfego médio; V4 corresponde a vias coletoras com volume de tráfego leve; e V5 corresponde a vias locais com volume de tráfego leve.

4. ALGUNS ESTUDOS SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A tecnologia mais utilizada na IP é a de lâmpadas de descarga que abrangem as lâmpadas mistas, a vapor de mercúrio, a vapor de sódio de baixa pressão, alta pressão e extra-alta pressão e a vapores metálicos.

Muito embora representem a grande maioria do mercado de IP, as lâmpadas de descarga vêm perdendo cada dia mais espaço para a tecnologia *LED* por, dentre outros motivos os equipamentos *LED* possuírem: maior vida útil; maior eficiência energética; baixos custos de manutenção; acendem-se instantaneamente; melhor distribuição espectral; maior resistência mecânica; variedade de *design*; **dimerizáveis**; ausência de radiação IV e UV; e ausência de mercúrio.

Alguns estudos mostram aplicações da tecnologia *LED* na IP visando a melhoria da eficiência energética e redução da demanda.

Podemos citar como exemplo o estudo realizado na Espanha, onde novas relações entre a eficiência energética dos sistemas de IP, largura da rua, e altura da luminária foram derivadas da análise de uma grande amostra de saídas, geradas com aplicação de *software* amplamente utilizada na iluminação que acabou maximizando a eficiência energética do sistema de IP, na medida em que facilitou o cálculo dos parâmetros de uma instalação de iluminação, de acordo com as recomendações da *International Commission on Illumination* (Rabaza et al., 2016).

Em um outro estudo, realizado na cidade de Belgrado, na Sérvia, foram abordadas as deficiências de inúmeros estudos de campo, tentando estabelecer economias reais de energia ao substituir as luminárias de sódio de alta pressão pela *LED* na IP. Concluiu-se que quando utilizando *LED* de qualidade em vez de luminárias

de vapor de sódio, a economia de energia pode variar entre 31% e 60% na aplicação de cenários distintos (Djuretic e Kostic, 2018).

Beccali e outros (2018) exploram a necessidade de adequação de inúmeros sistemas de iluminação existentes na Itália, uma vez que estes não preenchem os requisitos normativos, gerando poluição luminosa, consumo energético excessivo e não sendo economicamente sustentáveis. Para isso, é proposta uma nova metodologia detalhada para renovação dos sistemas atuais com enfoque na viabilidade técnico-econômica.

Já neste outro trabalho, trata-se da ineficiência dos sistemas de IP do Sul da Itália devido a obsolescência das lâmpadas, luminárias e da incapacidade de implementação um controle de dimerização desses equipamentos. Com objetivos de melhoria da eficiência energética foram realizadas várias simulações de para três cenários distintos a técnica de dimerização apresentou melhores resultados de economia de energia, influenciando na análise de viabilidade econômica e com grande aplicabilidade em várias outras cidades dessa região da Itália (Beccali et al., 2015).

No Brasil, alguns estudos sobre a melhoria da eficiência energética, da qualidade da iluminação e considerando aspectos de qualidade de energia foram realizados, citando-se neste texto alguns de nosso grupo de pesquisa (Oliveira et al., 2018; Pereira et al., 2015; Fassarella et al., 2014).

5. ESTUDO DE CASO: CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Para o estudo de caso foi escolhido a cidade do Rio de Janeiro que apresenta aproximadamente 435.000 pontos de IP, onde as lâmpadas HID representam aproximadamente 98% do parque instalado na cidade do Rio de Janeiro (Prefeitura Rio de Janeiro, 2019).

Na Fig. 1 podemos observar o percentual de distribuição de potências de luminária HID.

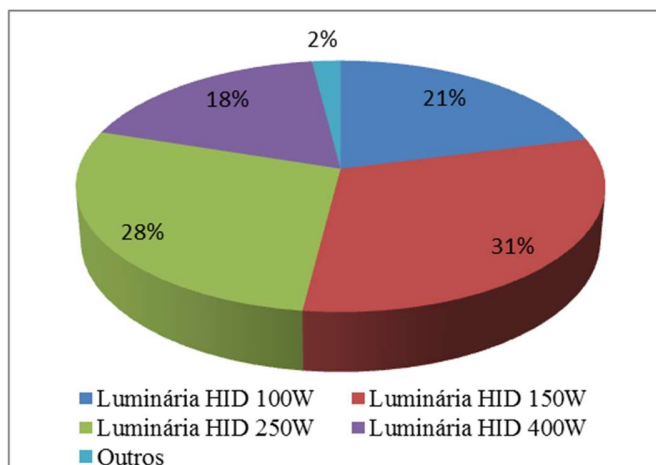


Fig. 1. Luminárias utilizadas em IP na cidade do Rio de Janeiro

Em um projeto de iluminação dados como largura da via, altura de montagem, comprimento do braço, espaçamento entre postes, a disposição do poste na via e a curva de distribuição luminosa, são dados fundamentais para realização dos projetos de iluminação e especificação das luminárias.

A RIOLUZ adota trechos típicos de ruas para simulação e especificação das luminárias públicas a serem instaladas, apresentando assim 5 tipos de trechos típicos conforme apresentados na Tabela 2.

Foram realizadas várias medições no goniofotômetro do Laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal Fluminense – Lablux-UFF, com objetivo de obter as curvas de distribuição luminosa para que fossem gerados os arquivos IES de alguns fabricantes, tornando possível a realização das simulações no *software* Dialux.

Na realização dos ensaios apresentados neste trabalho foi utilizado o Goniofotômetro do fabricante Everfine Modelo GO2000 composto por um goniômetro, um fotômetro e um sistema de controle ilustrados nas Figs. 2, 3 e 4.

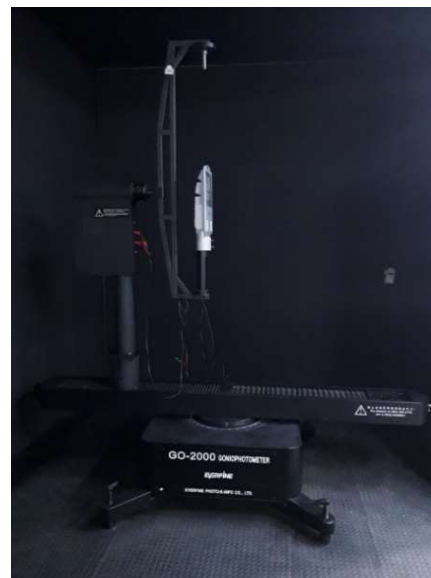


Fig. 2. Goniofotômetro Everfine



Fig. 3. Fotômetro Everfine



Fig. 4. Sistema de controle do goniofotometro

Durante as medições as amostras foram alimentadas pela fonte de potência do fabricante Pacific Power Source modelo 110ADX ilustrada na Fig. 5, as características elétricas foram medidas com um wattimetro Yokogawa Model WT-210 como mostra a Fig. 6.



Fig. 5. Fonte de potência Pacific Power Source



Fig. 6. Wattimetro Yokogawa

O Controle do Sistema e a interface entre o operador e o equipamento são feitos via computador pelo *software* fornecido pelo fabricante, este *software* também gera os arquivos IES.

No estudo consideramos 2 cenários, no primeiro as luminárias convencionais foram substituídas por luminárias LED. No cenário 2 aplicou-se uma metodologia para controle de dimerização

5.1 Cenário I

Para especificação da luminária LED em substituição das HID já instaladas, foram realizadas medições em luminárias de vários fabricantes certificados pela Portaria INMETRO n.º 20, de 15 de fevereiro de 2017.




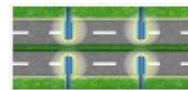
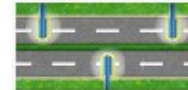
As características fotométricas foram obtidas com o objetivo de determinar a luminária LED que atenda aos requisitos normativos exigidos pela ABNT NBR 5101.

Com os arquivos IES gerados pelo *software* de medição, foram realizadas várias simulações no *software* Dialux para determinar o melhor enquadramento de potência da luminária LED a ser instalada em cada tipo de trecho típico adotado pela RIOLUZ, atendendo os limites de iluminância previstos em norma.

Na simulação dos trechos típicos foram determinadas as luminárias LED de menor potência que atendiam o limite de 30 lux de iluminância, está especificada em norma para vias com volume de tráfego intenso.

Nas Figs. 7 e 8 podemos observar os resultados das simulações no trecho tipo1 onde determinou que a luminária LED de 60W atendeu ao limite de 30 lux de iluminância.

Tabela 2. Parâmetros dos Trechos Típicos

Trecho típico	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Largura da via	4,0 m	7,0 m	10,5 m	14,0 m	14,0 m
Altura de montagem	4,5 m	9,0 m	9,0 m	9,0 m	12,0 m
Comprimento do braço	0,20 m	1,77 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m
Espaçamento entre postes	12,0-17,0 m	24,0 m	30,0-40,,0 m	25,0-30,,0 m	50,,0 m
Disposição do poste	Unilateral 	Bilateral alternado 	Bilateral alternado 	Bilateral frontal 	Bilateral alternado 
Luminária HID	100 W	150 W	250 W	250 W	400 W

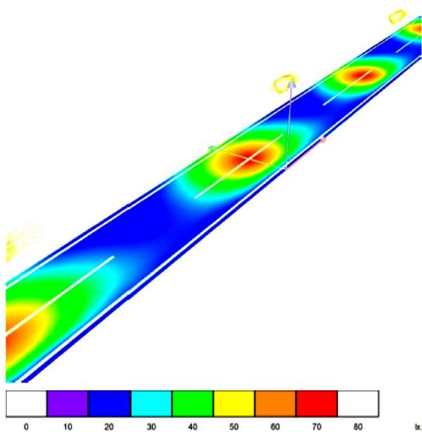


Fig. 7. Iluminância do trecho tipo I com renderização de cor

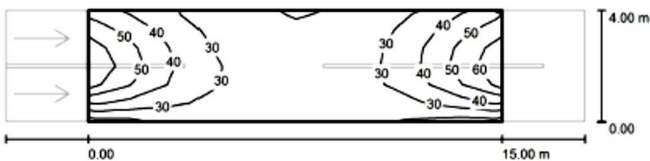


Fig. 8. Curva isolux do trecho tipo I

Nas Figs. 9 e 10 podemos observar os resultados das simulações no trecho tipo II onde determinou que a luminária LED de 70W atendeu ao limite de 30 lux de iluminância.

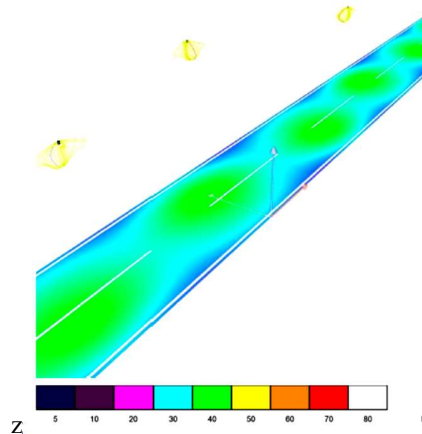


Fig. 9. Iluminância do trecho tipo II com renderização de cor

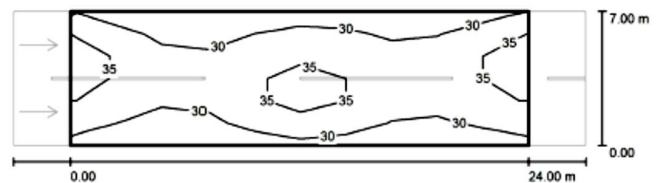


Fig. 10. Curva isolux do trecho tipo II

Nas Figs. 11 e 12 podemos observar os resultados das simulações no trecho tipo II onde determinou que a luminária LED de 170W atendeu ao limite de 30 lux de iluminância.

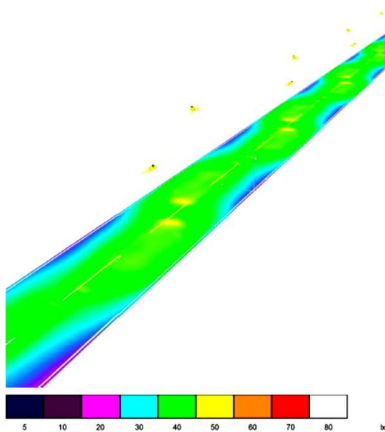


Fig. 11. Iluminância do trecho tipo III com renderização de cor

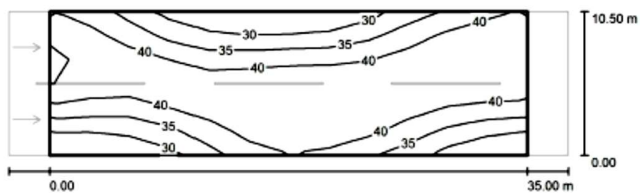


Fig. 12. Curva isolux do trecho tipo III

Nas Figs. 13 e 14 podemos observar os resultados das simulações no trecho tipo II onde determinou que a luminária LED de 170W atendeu ao limite de 30 lux de iluminância.

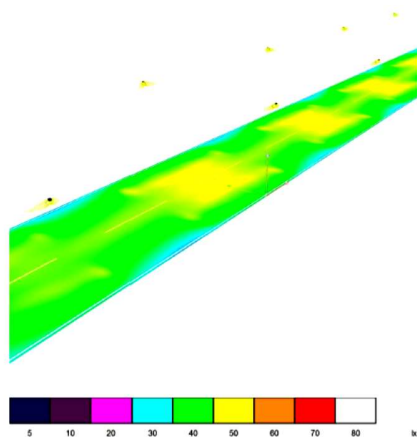


Fig. 13. Iluminância do trecho tipo IV com renderização de cor

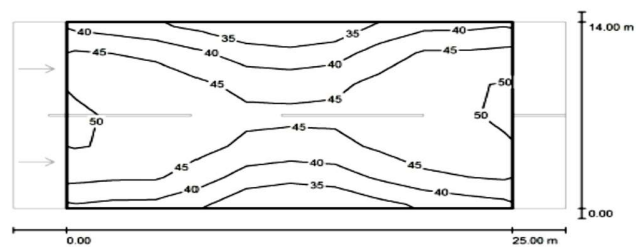


Fig. 14. Curva isolux do trecho tipo IV

Nas Figs. 15 e 16 podemos observar os resultados das simulações no trecho tipo II onde determinou que a luminária LED de 240W atendeu ao limite de 30 lux de iluminância.

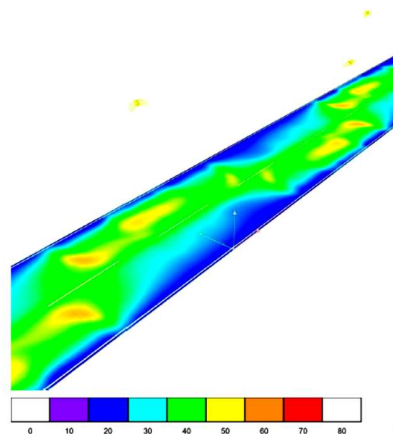


Fig. 15. Iluminância do trecho tipo V com renderização de cor

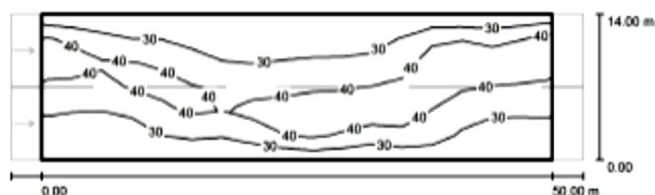


Fig. 16. Curva isolux do trecho tipo V

5.2 Cenário II

As luminárias utilizadas no cenário I dimerizadas com base nos horários noturnos, levando em consideração a utilização e tráfego da via. Na Tabela 4 vemos os períodos e limites adotados.

Com base nos valores de iluminância definidos para cada período, foram realizadas dimerizações e simulações no software Dialux para cada luminária LED utilizada no cenário I com o objetivo de alcançar o menor valor de potência, esses valores são apresentados na Tabela 5.

Tabela 3. Luminárias LED especificadas por simulação

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Luminária VS	100 W	150 W	250 W	250 W	400 W
Luminária LED simulação	60 W	70 W	170 W	170 W	300 W
Distribuição luminosa					
Imagem 3D da distribuição luminosa					

Tabela 4. Horários e limites aplicados

Períodos	Iluminância média mínima (lux)
18-22h	30
22-00h	20
00-06h	10

Tabela 5. Horários e limites aplicados

Período	18-22h	22-00h	00-06h
Trecho típico	Potência encontrada com dimerização (W)		
Tipo I	60	42,5	22,8
Tipo II	70	48,4	25,9
Tipo III	170	118,6	59,8
Tipo IV	170	119,3	61,2
Tipo V	240	169,2	85,9

6. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Apresentamos na Tabela 6 os resultados encontrados provenientes da substituição das luminárias *HID* pela tecnologia LED:

Tabela 6. Apresentação dos resultados

Cenários	Demanda (kW)	Consumo (MWh/mês)	Consumo (R\$/mês)	Toneladas de CO ₂ ao ano
<i>HID</i>	90.085	32.431	17.192.110	32.688
Cenário I	53.793	19.365	10.266.028	19.524
Cenário II	53.793	12.216	6.475.823	12.312

Em relação a demanda obteve-se uma redução de 40% com a substituição por luminárias com potências menores. Nos dois cenários onde foram aplicadas a tecnologia *LED* apresentaram a mesma demanda, pois no horário de 18 às 22h a potência nos dois casos é a mesma (Fig. 17).

Levando em consideração que o sistema de IP do país funciona em horário de pico uma redução de demanda acarreta uma postergação de investimentos em geração.

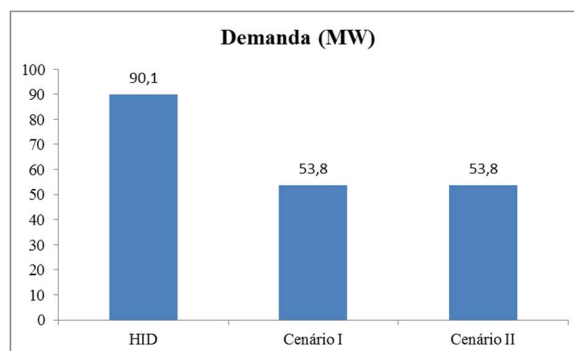


Fig. 17. Demanda para cada cenário

Em relação ao consumo de energia, a redução com a substituição foi da ordem de 31% e quando considerado sistema com dimerização foi de 47%. A Fig. 18 apresenta o custo mensal do sistema atual de lâmpadas de descargas e os cenários construídos com a tecnologia *LED*.

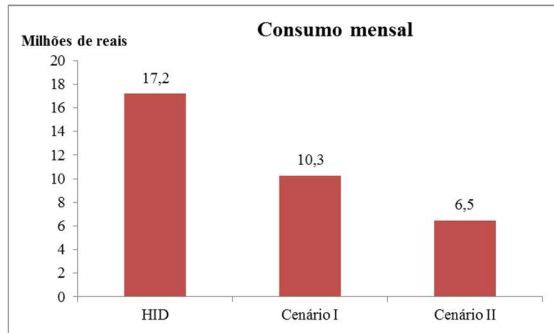


Fig. 18. Consumo para cada cenário

A Fig. 19 apresenta os valores de emissão de toneladas de dióxido de carbono equivalente. O percentual de redução com a dimerização da tecnologia *LED* foi de 62%.

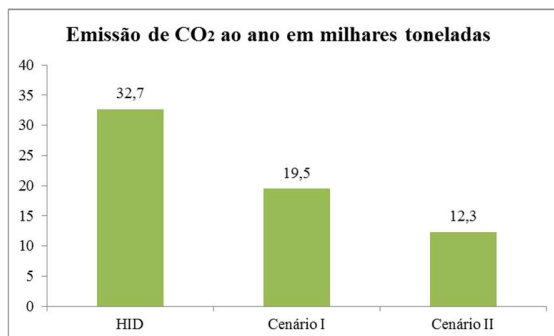


Fig. 19. Emissão de CO₂ ao ano

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a importância do atendimento aos requisitos normativos de IP no objetivo de se alcançar a otimização da eficiência energética do sistema como um todo. Somente com um projeto luminotécnico bem dimensionado que é possível explorar os melhores benefícios que essa tecnologia tem a nos oferecer.

O sistema de iluminação atual da cidade do Rio de Janeiro é em sua maioria composto pela tecnologia *HID* que apresenta índices bem menores de eficiência.

Do ponto de vista econômico, mesmo sendo mais caro que a tecnologia *HID*, a iluminação *LED* apresentou-se viável, atingindo o payback em torno de quatro anos conforme mostrado na Fig. 20, considerando uma taxa de juros de 6,5% ao ano, valor típico praticado pelo Reluz/Eletróbras.

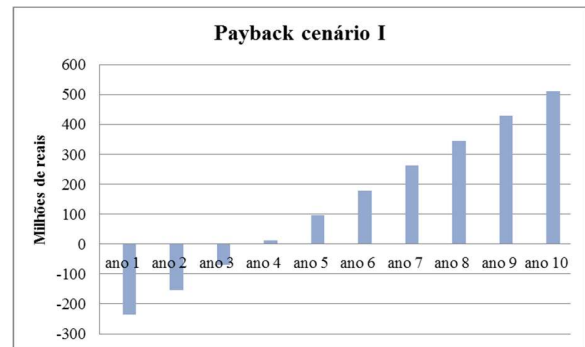


Fig. 20. Payback cenário I

Na Fig. 21, vimos que o payback foi reduzido para pouco mais de 3 anos.

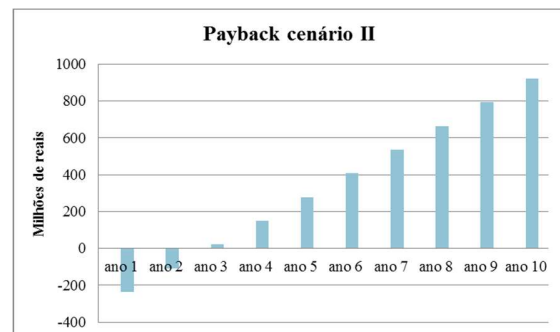


Fig. 21. Payback cenário II

A tecnologia *LED* proporcionou uma redução de demanda 36,3 MW e economia de energia de aproximadamente 7 milhões mensais. Quando consideramos a técnica de dimerização, essa economia saltou para 10,5 milhões. O investimento em tecnologia *LED* apresentou-se economicamente atraente, principalmente quando utilizado com controles de iluminação aproveitando ao máximo o potencial de economia de energia

Do ponto de vista ambiental, obteve-se uma redução de aproximadamente 20 milhões de toneladas por ano com a dimerização do sistema de iluminação.

Com os estudos apresentados, mostra-se a necessidade de se discutir e ampliar os horizontes que a tecnologia *LED* dimerizada pode trazer de benefícios para a sociedade. Com a tendência de a tecnologia tornar-se ainda mais barata para os próximos anos, esse potencial de economia pode vir a ser ainda mais expressivo.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). ABNT NBR 5101:2018 – Iluminação pública – Procedimento.
- Agência Internacional de Energia. (2006). Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighting. France, 2006.
- Beccali, M. et al. (2015). Improvement of energy efficiency and quality of street lighting in South Italy as an action of

- Sustainable Energy Action Plans. The case study of Comiso (RG). *Energy*, vol.92, pp.394-408. doi: 10.1016/j.energy.2015.05.003.
- Beccali, M. et al. (2018). On the impact of safety requirements, energy prices and investment costs in street lighting refurbishment design. *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2018.10.011.
- Djuretic, A. and Kostic, M. (2018). Actual energy savings when replacing high-pressure sodium with LED luminaires in street lighting. *Energy*, 2018 doi: 10.1016/j.energy.2018.05.179.
- Fassarella, J.E.V. et al. (2014). Analysis and Suggested Solution of Power Quality in Lighting Laboratory. *IEEE Latin America Trans.* vol.12, pp.1019-1026. doi: 10.1109/TLA.2014.6893995.
- Ministério de Minas e Energia. (2011). Plano Nacional de Eficiência Energética. Brasília, DF.
- Oliveira, L.B. et al. (2018). Lighting retrofit using LED technology — Efficiency analysis and environmental impacts. In: *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)*. doi: 10.1109/SBSE.2018.8395906.
- Pereira, A.M.E. et al. (2015). Some Considerations about LED Technology in Public Lighting. in *2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. doi: 10.1109/Chilecon.2015.7400433.
- Prefeitura do Rio de Janeiro. (2019). PPP Iluminação Pública Rio Road Show 2019. Disponível em: http://http://associacaoabcip.com.br/wp-content/uploads/2019/05/Rio-PPP-IP_road-show_ABCIP-004.pdf.
- PROCEL. (2018). Resultados Procel 2018-Ano Base 2017.
- Rabaza, O. et al. (2016). A simple and accurate model for the design of public lighting with energy efficiency functions based on regression analysis. *Energy*, 2016. doi: 10.1016/j.energy.2016.04.078.