

Assessment of the Technological Update of Public Lighting in Brazil

J. Araujo, L. Silva, L. Oliveira, M. Fortes, *Senior Member, IEEE*, B. Borba, and A. Colombini

Abstract—In recent years, Brazil has experienced several crises of electric energy, and in the face of this situation, there is a concern to apply consumer reduction actions based on the government program PROCEL. Public lighting, in particular, is one of the areas where energy efficiency actions can be applied through technological updating of lighting equipment. This study, therefore, aims to evaluate the impact of such a change in the electric sector. For that, pilot projects were considered with complete technological update of this park by LED technology. In this context, it was evaluated the reduction of the electric energy consumption and thus, presented a 10-year projection scenario in order to verify the benefits of the technological update in terms of electric energy consumption and reduction of the energy demand with some economic considerations and, consequently reduction in the energy bill of final consumers. In addition, this projection can be used to discuss the reduction of CO₂ emissions, as upgrading of public lighting by LED technology will bring savings in consumption and energy production.

Index Terms—Public lighting, CO₂ emissions, Energy consumption, LED technology.

I. INTRODUÇÃO

DEVIDO aos avanços tecnológicos e ao concomitante crescimento da sociedade, o uso da iluminação artificial tem crescido no mundo. Tal fato tem influenciado significativamente na produção de eletricidade, que para atender a demanda de iluminação artificial dispõe de 20% da produção total no mundo [1]. O crescente consumo de energia para atender tal demanda, atinge 1.900 milhões de toneladas de emissões de CO₂ ao ano, valor este que pode ser comparado com o setor automobilístico e aéreo [2].

Cerca de 2,3% da iluminação artificial é destinada a iluminação externa, que pode ser considerada em sua maioria como iluminação pública (IP), e são responsáveis por aproximadamente 60% do consumo municipal de eletricidade num país desenvolvido [3]. Pode-se dizer que a IP tornou-se imprescindível para qualidade de vida da sociedade, principalmente nos centros urbanos, uma vez que contribui para a segurança do cidadão, inibe a criminalidade, estimula o turismo e comércio, proporciona o lazer noturno aos habitantes, além de adornar o centro urbano tornando visível as paisagens, prédios, monumentos e entre outros no período noturno.

Ademais, a IP opera na segurança do tráfego orientando percursos a serem utilizados pelos motoristas [4].

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), recentemente no Brasil, a qualidade na prestação do serviço de IP sofreu avanço, pois tecnologias inovadoras vêm sendo estudadas e implementadas para expandir a eficácia dos sistemas de IP atuais. Desde 1993, a Eletrobras passou a instituir ações de eficiência energética para a IP, e com isso investiu e financiou a efficientização do parque luminotécnico existente, tendo como mutuária as concessionárias de energia elétrica [5].

Estudos realizados pela Eletrobras no ano de 2008, evidenciaram que a iluminação pública equivale a aproximadamente 3,96% do montante de energia elétrica consumida no país, o qual corresponde a 10.624 GWh/ano. Este número destaca a importância e a necessidade de investigar o quanto pode-se economizar neste segmento, visto que a IP é potencialmente somada ao consumo total de energia elétrica utilizada pelo país [5]. Mediante a esse cenário de crescimento é necessário o estudo mais detalhado do real impacto da iluminação pública no consumo energético brasileiro numa visão futura, avaliando as tecnologias que estão surgindo.

No ano de 2000, foi instituído pela Eletrobras o Procel Reluz (Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes). Este programa conta com o apoio do Ministério de Minas e Energia (MME), e tem sua implementação realizada pelas concessionárias de energia elétrica com assídua participação das prefeituras e governos estaduais. Tal programa opera na expansão dos sistemas de iluminação pública eficientes e sinalização semafórica valorizando os espaços públicos urbanos e provocando melhoria na segurança da população. O Procel Reluz atua por meio da substituição de lâmpadas incandescentes, mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão, vapor metálico ou luminárias LED [6].

É incontestável a preocupação com as novas soluções tecnológicas para aplicações em IP, pois além de viabilizar uma iluminação de qualidade, estas devem ser eficientes na conversão de energia elétrica em luz, e ter uma vida útil longa, e assim reduzir gastos com a manutenção deste sistema. Tradicionalmente a IP utiliza lâmpadas de descarga em alta pressão, sendo a vapor de sódio em alta pressão (VSAP) a mais empregada nos municípios, cerca de 63% dos pontos de iluminação existentes no Brasil [7].

Apesar do uso massivo da tecnologia VSAP em vias públicas, o uso da tecnologia LED tem crescido em todo o mundo. Pode-se citar como exemplo os projetos de iluminação inteligente já implementados nos EUA, França e no Brasil. Tal tecnologia pode possuir controle remoto, permitindo variar a intensidade de iluminação pelo tempo ou pelo sensor de

J.F. Araujo - PPGEET/UFF – Brazil. (email: julia.araujo@gmail.com).
 L.M. Silva - PPGEET/UFF – Brazil. (email: lumerenciano@yahoo.com.br).
 L.B. Oliveira – PPGEET/UFF – Brazil. (email: lorenaoliveira@id.uff.br).
 M.Z. Fortes - PPGEET/UFF – Brazil. (email: mzf@vm.uff.br).
 B.S.M.C.Borba -PPGEET/UFF – Brazil (email: bborba@id.uff.br).
 A.C.Colombini – TEE/UFF- Brazil (email: acolombini@id.uff.br).

movimento, reduzindo o consumo de energia e também fornecendo informações em tempo real [8,9].

Segundo estudos recentes realizados pela Comissão Europeia, foi evidenciado que entre 30% e 50% da eletricidade destinada a IP poderia ser poupada através do investimento em sistemas de iluminação energeticamente eficientes. Na maioria dos casos, esses investimentos não são apenas lucrativos e sustentáveis, mas também melhoram a qualidade de iluminação [10].

Desta maneira, pode-se dizer que a inserção da tecnologia LED no parque de IP brasileiro, pode, além de melhorar a qualidade da iluminação, também contribuir com ações de eficiência energética. Nesse sentido, diversas ações estão sendo implementadas no país, reduzindo os custos de energia com a IP dentro dos municípios. Além disso, a tecnologia LED possui maior vida útil quando comparada com as outras tecnologias, sendo facilmente integradas a sistemas de controle remoto facilitando sua operação e manutenção, e promovendo assim uma redução de custos de manutenção e gestão da IP.

Vale ressaltar que, de acordo com [11], além dos benefícios quanto à eficiência e vida útil, a tecnologia LED possibilita também a aplicação do conceito de cidades inteligentes que é definida como uma área urbana ultramoderna que atende às necessidades de empresas, instituições e especialmente cidadãos por meio de um agrupamento de diversas tecnologias que utilizam práticas inteligentes e sustentáveis [12,13]. Cita-se como exemplo a implementação na cidade inteligente de Búzios, a primeira cidade inteligente da América Latina, cujo objetivo é possibilitar a identificação de falhas nos postes, controle dos níveis de luminosidade com acendimento programado e controle de demanda para atestar a sustentabilidade, a estabilidade da rede e a integração de uma ferramenta eficaz na telegestão da iluminação pública [14].

É sabido que as ações do PROCEL RELUZ proporcionaram uma considerável economia de energia no país, com as suas ações já executadas com a inserção da tecnologia vapor de sódio. Entretanto, segundo diversos estudos, a LED tem ganhando notoriedade no que diz respeito à redução de consumo de energia e ao conforto visual, devido ao alcance do seu fluxo luminoso e sua temperatura de cor, e à sua vida útil e fácil manutenção.

A proposta deste artigo é apresentar uma projeção do impacto da troca das lâmpadas e luminárias atuais pelas fabricadas com tecnologia LED. Para tanto, foi considerado um cenário de 2018 a 2028 tendo como base o consumo nacional (MWh/ano) e o quantitativo de equipamentos utilizado no atual parque de IP.

II. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em três etapas, conforme a Fig. 1. Na primeira, uma contextualização do histórico de iluminação pública no Brasil é realizada, enfatizando como a política governamental atual tem buscado a eficiência do parque de iluminação pública. Ainda nesse tópico, a regulamentação brasileira é apresentada, evidenciando o papel das prefeituras e governos frente às concessionárias de energia elétrica. Vale ressaltar que para esta avaliação inicial, a quantificação média

dos pontos de iluminação pública existentes em todo o território nacional será utilizada.

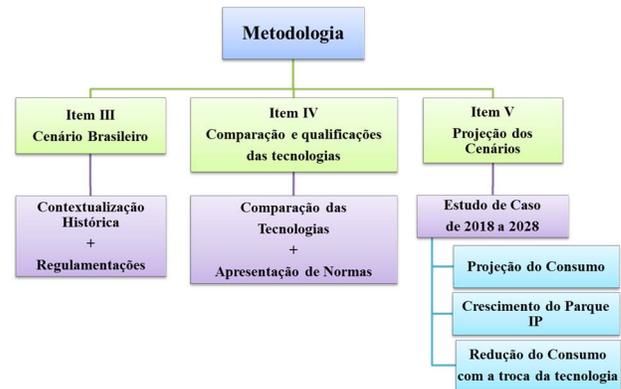


Fig. 1. Metodologia.

Na segunda etapa, são apresentados os índices essenciais para qualificar uma dada tecnologia, evidenciado, por meio de uma comparação entre as tecnologias que atualmente compõem o parque de IP do Brasil, aquelas que mais se destacam em cada uma das características analisadas. Neste mesmo estágio, será considerada a norma regulamentadora NBR 5101:2012, a fim de apontar os requisitos mínimos para atender a IP de maneira eficiente e segura, e ainda descrever o papel das certificações hoje existentes para a IP de LED indicadas pelo INMETRO e pelo Selo Procel.

No terceiro e último cenário, é apresentada a projeção do consumo nacional em MWh do parque de IP no Brasil para o ano de 2017. Nesse sentido, uma tendência para a atualização do parque de IP com tecnologia LED no período compreendido entre 2018 e 2028 é realizada. Estas projeções e tendências foram obtidas a partir dos dados regionais de consumo (MWh) retirados do estudo [15] apresentado pela revista REGET/UFSM, a qual utilizou informações da base de dados da ANEEL. A projeção do consumo foi realizada a partir da equação da reta, obtida por uma tendência linear construída em planilhas utilizando como ferramenta o software Microsoft Excel®. Este trabalho mostra uma visão do cenário no ano de 2028 se a atualização tecnológica acontecer.

Como resultado, o trabalho apresenta a projeção do crescimento do parque de IP, e da redução da energia consumida após a substituição de todo este parque no período sob estudo. Para demonstrar a atualização do parque de IP pela tecnologia LED, foi admitida uma taxa de redução ao ano a partir do montante de pontos de IP atualmente existentes, entretanto, em paralelo a esta projeção, e com base nas estimativas de mercado, também foi considerado a taxa de crescimento dessa tecnologia.

III. CENÁRIO BRASILEIRO

Muito se discute sobre a IP no Brasil, e um importante fator a destacar, é a responsabilidade da gestão e manutenção dos pontos de IP atualmente existentes. O Art. 21 da Seção X da Resolução nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) afirma que a elaboração de projeto, a implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública são de responsabilidade do poder público

municipal ou distrital, ou ainda de quem tenha recebido deste a delegação para prestar tais serviços [16, 17]. Entretanto a atual gestão da IP, varia entre estados, podendo ser administrada tanto pelo município, quanto pelas concessionárias de energia [16].

De acordo com os últimos dados compilados pelo PROCEL RELUZ em 2012, no momento presente, existem cerca de 15 milhões de pontos de IP em todo o Brasil [18]. Todavia, em conformidade com dados levantados por diversos estudos, estima-se que o mercado de IP no Brasil compreenda em torno de 18 milhões de pontos de luz, com um alcance de 95,5% ao redor dos domicílios. Atualmente o parque luminotécnico existente no Brasil, é constituído essencialmente por lâmpadas a vapor de sódio, lâmpadas a vapor de mercúrio, e os LEDs, que ainda não são expressivos, uma vez que suas instalações fazem parte de projetos pilotos para atestar a confiabilidade da tecnologia [19].

Pesquisas apontam que o parque luminotécnico ainda em 2015 atingiu 4,3% do consumo de energia elétrica nacional. Tal percentual equivale a 14,3 TWh, tendo como consequência um gasto equivalente a R\$ 3,5 bilhões com a exclusão dos tributos, atribuídos a esta despesa [19].

O atual sistema empregado no parque de IP (brasileiro) remonta à década de 1960, neste período as lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio foram introduzidas no mercado nacional para assim compor o parque de IP. Contudo, é sabido que as lâmpadas de vapor de sódio e de mercúrio configuram significativos custos de manutenção, além do difícil descarte. Estudos evidenciam que o dispêndio num período de 25 anos, compreenderia uma taxa de 85% para manutenção e operação, e ainda 15% do custo de capital, ou seja, o retorno do investimento [20].

Com o crescente avanço tecnológico, o mercado de iluminação tem adquirido soluções energeticamente mais eficientes, como a utilização das luminárias LEDs também para o campo da IP. Pode-se dizer que as luminárias LEDs consomem 50% de energia quando comparadas às luminárias convencionais, de modo a exemplificar, pode-se afirmar que, uma luminária de LED de 250W corresponde aproximadamente, a uma de 500W convencional. Tal economia é significativamente expressiva, uma vez que proporciona a redução das faturas de energia, o que implica diretamente no custo com a geração de energia elétrica, no que compreende as hidrelétricas ou termoelétricas, maiores fontes desta geração de energia elétrica no Brasil [16].

De acordo com as intervenções da Eletrobrás, provenientes dos resultados obtidos pelo PROCEL RELUZ, no ano de 2016, o total de economia de energia elétrica, e de redução da demanda no horário de ponta, alcançou 62,64 milhões de kWh e 14,30 GW, nesta ordem. Ademais é importante mencionar, que o procedimento utilizado para avaliação dos resultados anuais, considera a economia durante a vida útil mínima das tecnologias hoje existentes, que corresponde a aproximadamente cinco anos. Desde o início do programa, o Procel Reluz já proporcionou a substituição de cerca de 2,78 milhões de pontos de iluminação pública em todo o território nacional [6].

As Figuras 1 e 2 apresentam o quantitativo da distribuição regional dos pontos de IP implementados pelo PROCEL

RELUZ desde 2001, e ainda a distribuição dos pontos de IP por região do Brasil em 2012.

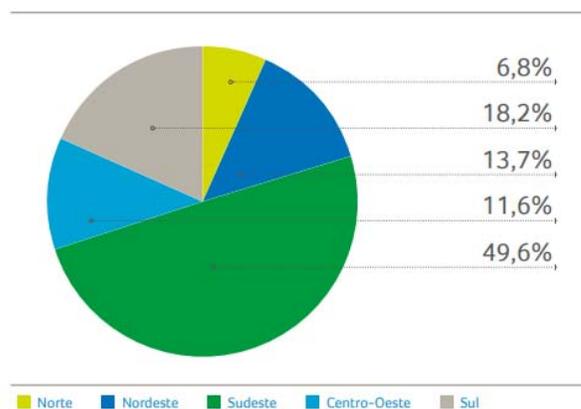


Fig. 2. Gráfico da distribuição regional dos pontos de IP implementados pelo PROCEL RELUZ desde 2001.

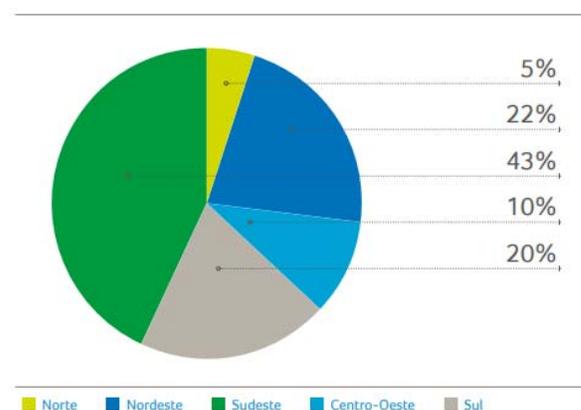


Fig. 3. Gráfico da distribuição dos pontos de IP por região do Brasil em 2012.

De acordo com os dados compilados pelo PROCEL RELUZ até o ano de 2012, o quantitativo de pontos de IP corresponde a aproximadamente a 15 milhões de unidades. A Tabela I apresentada estes dados [18].

TABELA I
QUANTIDADE DE PONTOS DE IP POR TIPO DE TECNOLOGIA ATÉ O ANO 2016
PELO PROCEL RELUZ

Tipo de lâmpada	Quantidade	Participação
Vapor de Sódio	9.294,611	62,9%
Vapor de Mercúrio	4.703,012	31,8%
Mistas	328.427	2,2%
Incandescentes	210.417	1,4%
Fluorescentes	119.535	0,8%
Multi-Vapor Metálico	108.173	0,7%
Outras	5.134	0,03%
TOTAL	14.769,309	

Ainda no âmbito do cenário brasileiro, e diante do quantitativo de pontos de IP existentes, pode-se afirmar que a eficiência do parque luminotécnico proveniente das ações do PROCEL RELUZ, além de proporcionar a redução do consumo de energia, participa da mitigação dos impactos ambientais. É pressuposto, de acordo com algumas

metodologias de mercado, que o programa PROCEL RELUZ em 2016 propiciou uma economia de energia correspondente 15,15 bilhões de kWh que, por conseguinte, refletem num CO₂ equivalente evitado de 1,238 milhão (tCO₂), que pode ser equivalente às emissões oriundas de aproximadamente 425 mil veículos no decorrer de um ano, e a energia fornecida no período de um ano, por uma usina hidrelétrica com eficácia de 3.634 MW [6]. A Tabela II apresenta um resumo destes dados.

TABELA II

PRINCIPAIS RESULTADOS ENERGÉTICOS DAS AÇÕES DO PROCEL EM 2016 [6]

Resultado	Total
Energia economizada (bilhões de kWh)	15,15
Usina equivalente (MW)	3,634
Emissão de CO ₂ equivalente (milhão tCO ₂ e)	1,238

IV. COMPARAÇÃO E QUALIFICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS

Pode-se dizer que os índices utilizados para qualificar uma dada tecnologia de luminária são, dentre outros, a temperatura de cor, o índice de reprodução de cor, a eficiência luminosa e a vida mediana. Isso por que tais dados auxiliam na escolha do produto além de influenciarem no conforto visual do usuário e no custo gerado pela instalação. A Tabela III apresenta os dados das diversas tecnologias atualmente existentes no parque de IP, tendo em vista as características técnicas avaliadas.

TABELA III
COMPARATIVOS ENTRE TECNOLOGIAS

Tecnologia	Temperatura de cor (K)	IRC (%)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida mediana (horas)
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9000-15000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18000-32000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8000-12000
LED	4000	80-90	80-110	60000

*Tabela Adaptada [21].

Sabe-se que a ABNT NBR 5101:2012 determina os requisitos considerados como mínimos necessários para a iluminação de vias públicas, e que tem como principal função aumentar a segurança aos tráfegos de pedestres e veículos.

Um dos fatores importantes para a iluminação em vias é a distribuição apropriada das intensidades luminosas. A norma diz que as intensidades emitidas pelas luminárias são controladas direcionalmente e distribuídas de acordo com a necessidade para visibilidade do ambiente [22].

Com o propósito de assegurar a eficiência energética e a qualidade da eficiência luminosa da tecnologia LED, existem duas certificações brasileiras indispensáveis para os LEDs destinados a IP.

A primeira certificação existente é ditada pelo INMETRO, a Portaria 20 de fevereiro de 2017. Ela determina a certificação compulsória de luminárias públicas que utilizam LED e lâmpadas de descarga. Esta certificação tem como objetivo obter produtos com o máximo de eficiência energética e que apresentem segurança aos usuários, mitigando as diferenças de qualidade dos produtos entregues no comércio. Assim, os

produtos que não atenderem o nível mínimo de qualidade requerida serão extintos do mercado até 2020.

A data para a certificação obrigatória de todas as luminárias de IP a LED, importadas ou fabricadas no Brasil, foi 15 de agosto de 2018. Para a comercialização de lâmpadas sem certificação pelo INMETRO, a data limite foi 15 de fevereiro de 2020 no caso de comércio e distribuição. E para os importadores e fabricantes nacionais, a data limite para comercialização e distribuição foi dia 15 de fevereiro de 2019 [11, 23].

A segunda certificação existente é do PROCEL, chamada de Procel Selo. Publicada em outubro de 2017 pelo PROCEL, aborda os critérios para certificação de lâmpadas LED pelo Selo Procel de Eficiência Energética. O Selo, que não é obrigatório, é dado às luminárias que apresentem comprovante de conformidade emitido pelo Inmetro e os relatórios de ensaio que comprovam os níveis de eficiência e qualidade exigidos pelo Procel. Além dos critérios avaliados, o Procel exige uma garantia do produto por 5anos e uma eficiência luminosa mínima de 110 lumens por Watt. Como é uma certificação muito recente, ainda não há equipamentos cadastrados com Selo Procel [23].

Ainda com o objetivo de promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de Iluminação Pública, a partir de 2016 o Procel entrou em uma nova fase, focando no crescimento da iluminação pública a LED, tecnologia mais eficiente e durável que as tecnologias existentes.

Foi aprovado em março de 2017 pelo Comitê Gestor de Eficiência Energética (CGEE), no âmbito do Plano de Aplicação de Recursos do Procel 2017, o investimento de aproximadamente R\$17,5 milhões de recursos não reembolsáveis na Chamada Pública do Procel Reluz 2017.

Essa chamada pública tem por objetivo incentivar as prefeituras a apresentar propostas de projetos para a modernização dos seus parques de iluminação pública, utilizando a tecnologia LED em vias e praças públicas, com a finalidade de expandir a capacidade das administrações municipais em modelar e operacionalizar, seja individualmente ou através de parcerias, propostas para acessar fontes de recursos para seus projetos [24].

Tal modernização nos parques de IP é baseada no conceito de aumentar a eficiência energética, garantindo os níveis de iluminâncias nas vias, e respeitando os outros índices estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras de iluminação pública. Igualmente, todos os projetos realizados englobam a modernização dos sistemas de iluminação pública em todos os seus aspectos técnicos e equipamentos que os compõem como lâmpadas e pequenos acessórios de fixação [6].

V. PROJEÇÃO DOS CENÁRIOS

A. Projeção do Consumo Nacional para a IP

Esta projeção foi realizada a partir dos dados regionais do consumo de IP, retirados de um estudo realizado pela Universidade Federal de Santa Maria [25], oriundos da ANEEL no período de 2010 a 2013.

Foi realizada uma curva tendência para cada região (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste), onde se projetou o consumo em MWh para o ano de 2017. Vale ressaltar que em 2014 houve uma queda no consumo de energia devido altas

cargas tributárias, as oscilações de câmbio, custo do capital, copa do mundo, desempenho econômico, entre outros. Tal comportamento, que culminou com a recente crise brasileira, pode ser observado na curva da Figura 4 [15].

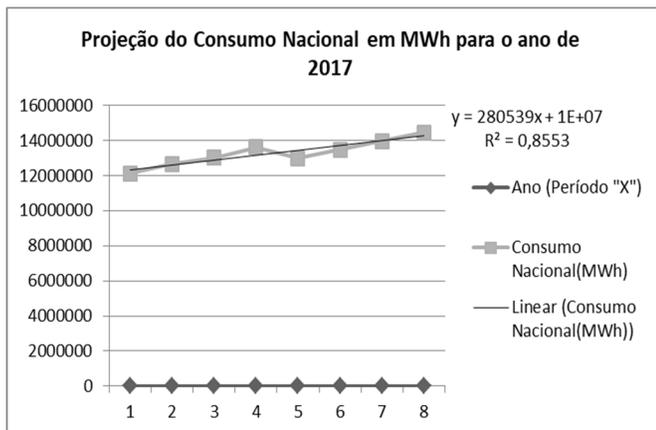


Fig. 4. Gráfico da Projeção do Consumo Nacional em MWh para o ano de 2017.

A partir da soma das projeções regionais, foi possível obter o consumo nacional de IP até o ano de 2017. Assim, de posse dos dados de 2017 foi possível realizar o estudo proposto, com as projeções de 2018 a 2028. Na Tabela IV apresentam-se os dados e na Figura 3 o gráfico referente à projeção do consumo de IP para o ano de 2017.

TABELA IV
CONSUMO NACIONAL DE IP PROJETADO PARA O ANO DE 2017.

Período	Ano (Período "X")	Consumo Nacional(MWh)
1	2010	12.124.284,58
2	2011	12.675.700,33
3	2012	13.033.222,64
4	2013	13.622.594,38
5	2014	13.002.357,00
6	2015	13.487.602,00
7	2016	13.972.847,00
8	2017	14.458.092,00

B. Crescimento do Parque de IP de 2018 a 2028 (%)

Para realizar a projeção do crescimento do parque de iluminação pública no cenário de 2018 a 2028, compreendendo a substituição das tecnologias de iluminação existentes pela tecnologia LED, foi admitida uma taxa de redução de 10% ao ano a partir do montante de pontos de IP atualmente existentes. A quantidade atual total de pontos de IP por tipo de tecnologia é mostrado na Tabela I.

Para a realização do estudo, todos os percentuais menores do que 3% de determinada tecnologia de IP foram incorporados na tecnologia vapor de sódio, tendo em vista que esta compreende maior impacto no parque quando comparada às demais, aproximadamente 70% do parque luminotécnico, além disso, para o cálculo de equivalência foi admitido uma potência de 250W para cada luminária de vapor de sódio. Para a tecnologia vapor de mercúrio, que compreende cerca de 30% deste mesmo

parque, foi admitida uma potência de 500W para cada luminária. A tabela V evidencia esta equivalência de acordo com os dados oriundos da tabela I.

TABELA V
QUANTIDADE DE PONTOS DE IP NO BRASIL PELO PROCEL RELUZ

Tecnologia	Quantidade de Pontos de IP no Brasil	Equivalência para LED
VSeq*	68,16%	10.066.297,00 250W para 70W
VM**	31,84%	4.703.012,00 500W para 100W

*VSeq- Vapor de Sódio Equivalente

**VM- Vapor de Mercúrio

Com a intenção de tornar esta projeção mais exata, foi utilizada uma taxa de crescimento anual de 8,8% prevista para a tecnologia LED de acordo com a informação fornecida pelo Portal O Setor Elétrico.

Na Tabela VI e Figura 5 pode-se verificar o comportamento deste crescimento no período de 2018 a 2028, onde as tecnologias vapor de sódio e vapor de mercúrio reduzem ao longo dos anos, enquanto tecnologia LED cresce até atingir o ano de 2028, momento em que todo o parque de iluminação é atualizado pela tecnologia de iluminação mais eficiente.

TABELA VI
PROJEÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO PARQUE DE IP DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES POR LED (MWh/ANO)-CRESCIMENTO.

Ano	Lâmpad aVSeq	Lâmpada VM	Lâmpada LED	Crescim. de LEDs ao ano	Total
2018	10.066.297	4.703.012	0	0	14.769.309
2019	9.059.667	4.232.711	1.476.931	129.970	14.899.279
2020	8.053.038	3.762.410	3.083.832	282.815	15.182.093
2021	7.046.408	3.292.108	4.843.577	451.122	15.633.216
2022	6.039.778	2.821.807	6.771.631	635.602	16.268.818
2023	5.033.149	2.351.506	8.884.164	837.739	17.106.558
2024	4.026.519	1.881.205	11.198.834	1.059.218	18.165.776
2025	3.019.889	1.410.904	13.734.983	1.301.890	19.467.666
2026	2.013.259	940.602	16.513.804	1.567.781	21.035.447
2027	1.006.630	470.301	19.558.516	1.859.114	22.894.561
2028	0	0	22.894.561	2.178.323	25.072.884
Crescimento do Parque de IP de 2018 a 2028 (%)					41%

Pode-se concluir diante da projeção realizada, que o crescimento do parque de IP de 2018 a 2028 corresponde a um percentual de 41%.

C. Redução da Energia Consumida após a Substituição de todo o Parque de IP de 2018 a 2028 (%)

Realizou-se também a projeção da redução do consumo de energia em MWh/ano com a inserção da tecnologia LED, onde foi possível verificar que a redução da energia consumida após a substituição de todo o Parque de IP de 2018 a 2028 pela dada tecnologia. Concluiu-se que esta redução, corresponde a um

percentual de 61%. A Tabela VII e Figura 6 apresentam os resultados obtidos para o período de 2018 a 2028.

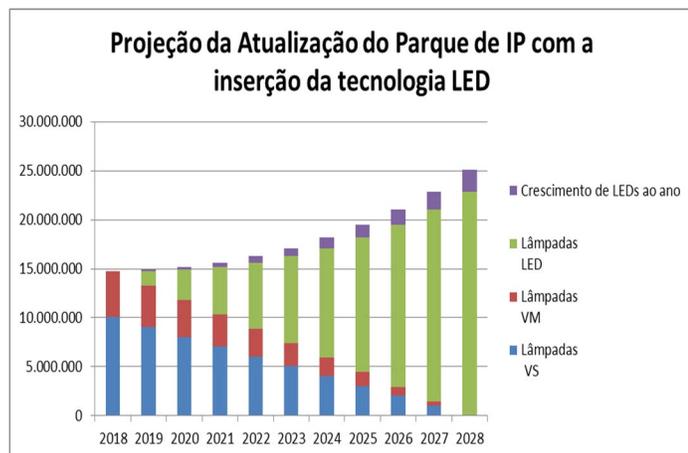


Fig. 5. Gráfico da projeção da atualização do parque de IP com a inserção da tecnologia LED.

TABELA VII
PROJEÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO PARQUE DE IP DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES POR LED (MWh/ANO)- REDUÇÃO

Ano	Lâmpada da VSeq	Lâmpada VM	Lâmpada LED oriundas da troca	Crescim. de LEDs ao ano	Total
2018	9.854.181	4.603.911	0	0	14.458.092
2019	8.868.763	4.143.520	514.625	45.287	13.572.194
2020	7.883.345	3.683.129	1.029.249	94.559	12.690.282
2021	6.897.927	3.222.738	1.543.874	144.182	11.808.720
2022	5.912.509	2.762.346	2.058.498	193.836	10.927.189
2023	4.927.091	2.301.955	2.573.123	243.492	10.045.661
2024	3.941.673	1.841.564	3.087.748	293.149	9.164.133
2025	2.956.254	1.381.173	3.602.372	342.806	8.282.606
2026	1.970.836	920.782	4.116.997	392.463	7.401.078
2027	985.418	460.391	4.631.621	442.119	6.519.550
2028	0	0	5.146.246	491.776	5.638.022
Redução da energia consumida após a substituição de todo o Parque de IP de 2018 a 2028 (%)					61%

VI. CONCLUSÃO

Neste estudo foram realizadas previsões a partir de cenários que servem de balizamento para políticas energéticas. Para tanto, investigou-se como é realizada a gestão da eficiência energética para a iluminação pública no Brasil e a eficiência do parque luminotécnico nacional atual. Propôs-se a completa substituição dos pontos de IP atualmente existentes pela tecnologia LED por ser a que comprovadamente apresenta a melhor eficiência energética e a de menor agressão ao meio ambiente.

Diante das pesquisas realizadas foi possível verificar que existem políticas e programas de eficiência do parque luminotécnico nacional, sendo a mais expressiva a política

implementada pela Eletrobrás por meio do programa PROCEL RELUZ. A implementação deste programa, que conta com o apoio do Ministério de Minas e Energia (MME), é de competência das concessionárias de energia elétrica contando também com a participação das prefeituras e governos estaduais.

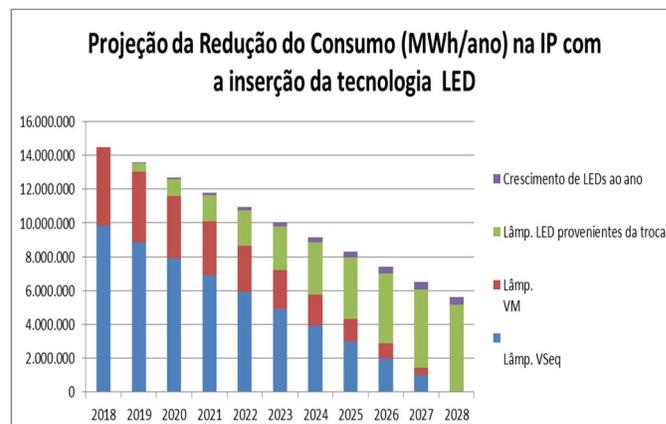


Fig. 6. Gráfico da Projeção da Redução do Consumo (MWh/ano) na IP com a inserção da tecnologia LED.

O PROCEL RELUZ utiliza em seu programa, recursos oriundos da Reserva Global de Reversão (RGR), todavia estes não suficientes para que o cenário visualizado neste trabalho seja atendido. É importante ressaltar que no ano de 2012 essa reserva foi esgotada. Desta maneira identifica-se a necessidade de viabilizar recursos para que o PROCEL RELUZ se adéque a realidade tecnológica e mais eficiente de utilização de luminárias LED em vias públicas.

A proposta realizada neste estudo contempla a inserção da tecnologia LED ao longo de 10 anos no parque de IP brasileiro. Assim, espera-se que, com o incentivo do governo, as concessionárias de energia possam realizar a troca das luminárias existentes e obter uma redução de consumo de aproximadamente 61%, conforme apresentado neste estudo.

Vale ressaltar que tal política, se implementada, poderia reduzir as taxas de IP pública aplicadas às faturas de energia atuais, além de contribuir para a economia de energia elétrica do sistema elétrico e redução da emissão do CO₂ no planeta.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Marimuthand V. Kirubakaran, "Carbon and Energy Payback Period for the Solar Street Light using Life Cycle Assessment", *International Journal of Chem Tech*, vol. 8, pp.1125–1130, 2015.
- [2] A. Almeida, B. Santos, B. Paolo and M. Quicheron, "Solid state lighting review—Potential and challenges in Europe", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 34, pp 30-48,2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.02.029.
- [3] M.J. Hermoso-Orzáez, J.I. Rojas-Sola and A Gago-Calderón, "Electrical consequences of large-scale replacement of metal halide by LED luminaires", *Lighting Research and Technology*, vol 50, pp 282-293, 2016, doi: 10.1177/1477153516645647.
- [4] L. P. Dambiski, "Aplicação do Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente (PROCEL RELUZ)", Trabalho de Conclusão do Curso de Eng. Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2007.
- [5] R. E. Ascurra, "Eficiência Elétrica em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED: Um Estudo De Caso", Dissertação de Mestrado do Departamento de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia., Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil, 2013.
- [6] M. C. Siqueira, "Resultados Procel 2017-Ano Base 2016", Programa Nacional de Conservação de Energia, pp. 37- 41. 2017.

[7] F.J. Nogueira, E.S. Silva, M.F.C. Campos, T.R.A. Carreira, L.H. Gouveia, C.G. Casagrande and H.A.C. Braga, “Projeto Piloto De Iluminação Pública Empregando Leds em substituição a Lâmpadas de Vapor de Sódio em Alta Pressão”, *Proceedings of XX Congresso Brasileiro de Automática*, pp. 3075-3082, 2014.

[8] G.A. Soares, P.R.M. Baratella and C. Griebenow, “Iluminação Pública Municipal Programas e Políticas Públicas - Orientações para Gestores Municipais, Revisão MME”, 2018.

[9] F. C. A. Dias and N. A. A. Cacho, “A Platform for Measuring e-Participation in Smart Cities: A Case Study with Brazilian Capitals,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 2, pp. 542–548, 2018.

[10] R.S. Aguera, “Cenário Brasileiro da Iluminação Pública”, Trabalho de Conclusão do Curso de Eng.Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2015.

[11] Multimídia FNP. “Iluminando cidades Brasileiras”, 2016. Available at: <http://www.prefeitosonline.com.br/site/iluminando-cidades-brasileiras.html>. Access in: 19 jul 2018.

[12] R. Khatoun and S. Zeadally, “Smart cities,” *Commun. ACM*, vol. 59, no. 8, pp. 46–57, Jul. 2016.

[13] N. M. Kumar, S. Goel, P. K. Mallick, “Smart Cities in India: Features, Policies, Current Status, and Challenges”, *IEEE International Conference on Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP-2018)*, pp. 1-4, 2018.

[14] EPEC – European PPP Expertise Center, “Energy Efficient Street Lighting – Luxemburgo”, União Europeia, 2013.

[15] L.G. Barreto, “Avaliação do uso da Tecnologia LED para Iluminação Pública – Estudo de Caso Prefeitura de Niterói”, Trabalho de Conclusão do Curso de Eng. Elétrica, Universidade Federal Fluminense, 2016. NITERÓI. Niterói, RJ, 2016. Iluminação Pública. Norma Técnica ABNT NBR 5101:2012. Rio de Janeiro, 2012.

[16] ABNT, “Iluminação Pública. Norma Técnica ABNT NBR 5101:2012”, Rio de Janeiro, 2012.

[17] M.C. Siqueira, “Resultados Procel 2017-Ano Base 2016”, Programa Nacional de Conservação de Energia, pp 37- 41. 2018.

[18] INMETRO, Regulamento Técnico para a qualidade de Luminárias para Iluminação Pública. INMETRO, Portaria nº 20 de 15 de fevereiro de 2017”, 2017.

[19] Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. REGET UFSM. Set-Dez 2015.

[20] A. M. E. Pereira, A. C. S. Paula, M. Z. Fortes, A. P. Fragozo, and G. M. Tavares, “Laboratory Test Results for Intelligent Street Lighting Systems,” 2016.

[21] *Jornal de Instalação. Revista Lumiere Electric. Edição 200*, pp. 53.

[22] N. M. C. A. A. Vilaca et al., “Smart city – caso da implantação em búzios,” *Rev. SODEBRAS*, vol. 9, pp. 16–22, 2014.

[23] M.C. Siqueira, “PROCEL RELUZ – Programa Nacional de Iluminação Pública e Iluminação Semafórica Eficientes”, *Proceedings of II Seminário de Iluminação Pública Eficiente UFJF-PROCEL*. Juiz de Fora, 2012.

[24] A. Gil-de-Castro, A. Moreno-Munoz, A. Larsson, J.J.G. de la Rosa and M.H.J. Bollen, “LED street lighting: A power quality comparison among street light Technologies”, *Lighting Research and Technology*, vol 45, pp. 710-728, 2012. doi: 10.1177/1477153512450866.

[25] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, “Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010”, 2010.



Júlia Fernandes Araujo é graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2015. Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2019. Possui experiência profissional em projetos, relatórios e planejamento da transmissão de energia elétrica, bem

como eficiência energética e projetos de instalações em baixa e média tensão.



Federal Fluminense (UFF).

Luana Merenciano da Silva é graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Severino Sombra (USS) em 2014, possui curso de pós-graduação em Engenharia de Segurança da Universidade Cândido Mendes (UCAM) e Mestrado em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade



medições para certificação de lâmpadas e luminárias.

Lorena Baptista de Oliveira é discente de doutorado e mestre em Engenharia Elétrica e Telecomunicações na Universidade Federal Fluminense (UFF) (2018) e possui graduação pela UFF em Engenharia Elétrica (2016). Tem experiência em projetos de engenharia elétrica com estudos de sistemas de iluminação em áreas classificadas, e em



Telecomunicações.

Márcio Zamboti Fortes (M'2010, SM'2017) é Mestre em Engenharia da energia pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 2000 e de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) em 2007. Atualmente é professor da Universidade Federal Fluminense (UFF), docente do programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica e



energético e energias renováveis, realizando vários trabalhos sobre cenários energéticos de longo prazo.

Bruno Soares Moreira Cesar Borba é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, Niterói – Brasil. É graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e recebeu os títulos de Mestre e Doutor em Planejamento Energético pela UFRJ (2008 e 2012). Atua nas áreas de planejamento



Federal Fluminense (UFF).

Angelo Cesar Colombini é Engenheiro Eletricista pela Universidade de São Paulo (USP) em 1990, Bacharel em Ciência da Computação na Universidade de Franca em (1999), Mestre em Engenharia Elétrica pela USP em 1994 e Doutor em Ciências pela USP na área de Física Computacional em (1999). Atualmente é docente no curso de Engenharia Elétrica da Universidade