

Evaluation of remote management in Brazilian public lighting - case analysis

Avaliação da telegestão na iluminação pública brasileira – estudo de caso

Rafael Deléo e Oliveira¹
José Carlos Martinez Melero²
Marco Antonio de Campos Reis¹
Murilo Moraes de Souza¹
Leonardo Santos Souza³
Douglas da Silva Rodrigues³

¹KMR Energia e Meio Ambiente
rafael.deleo@gmail.com
marco.acr@hotmail.com
murilomoraes@gmail.com

²Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo
jose.melero@usp.br

³Gerência de Iluminação Pública – Prefeitura Municipal de Santo André
leotub84@outlook.com
dsrprojetista@gmail.com

Abstract: the work evaluates the dimming of LED luminaires through the remote management system. It was observed that the dimming applied to luminaires installed on roads with lighting class V1 and V2 can represent an average reduction of 39.47% in annual electricity consumption. In addition, it was observed that the amount of energy saved varied for the same luminaire model following the same levels of hourly dimming throughout the days of the week. The average variation between the two luminaire models was 12.70%. Finally, the investment in the remote management system is amortized over a period of 6 to 10 years.

Keywords: Public lighting, remote management, dimming, LED luminaire.

Resumo: o trabalho avalia a dimerização de luminárias LED por meio do sistema de telegestão. Observou-se que a

dimerização aplicada em luminárias instaladas em vias com classe de iluminação V1 e V2 pode representar redução média de 39,47% no consumo anual de energia elétrica. Além disso, foi observado que a quantidade de energia economizada variou para o mesmo modelo de luminária seguindo os mesmos níveis de dimerização horária ao longo dos dias da semana. A variação média entre os dois modelos de luminária foi de 12,70%. Por fim, a amortização do investimento no sistema de telegestão ocorre no período de 6 a 10 anos.

Palavras-Chave: Iluminação pública, telegestão, dimerização, luminária LED.

1 Introdução

A existência e manutenção da sociedade moderna é dependente da energia elétrica. Os governos federal, estadual e municipal enfrentam o desafio de equilibrar as contas públicas frente ao aumento populacional dos centros urbanos, as mudanças climáticas e as variações nos preços da energia [1].

Dessa forma os projetos de eficiência energética contribuem para o equilíbrio das contas do poder público tendo em vista que o consumo de energia elétrica representa importante despesa do setor público. A modernização do parque de Iluminação Pública (IP) por meio da substituição de lâmpadas de descarga a alta pressão por luminárias LED pode representar redução nas despesas de Operação e Manutenção (O&M). A redução nas despesas de operação está relacionada ao aumento de eficiência da iluminação com redução do consumo de energia elétrica [2]. A utilização de luminárias LED pode representar redução média de 53,24% na carga instalada de um parque de IP [3]. Já, a redução das despesas de manutenção tem relação com a maior vida útil das luminárias LED em comparação as luminárias convencionais [2].

Estudo realizado no ano de 2006 apontou que a iluminação pública consumia aproximadamente 114 TWh (Terawatt-hora) de energia elétrica ao redor do globo a cada ano. Além disso, foi apontado que a maioria dos sistemas de iluminação pública era ineficiente e grande parte da luz produzida era desperdiçada contribuindo para a poluição luminoso [4].

E, de acordo com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 – ano base 2019, o consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 482.226 GWh (Gigawatt-hora). Desse total, o setor público (poder público, iluminação pública e serviço público) foi responsável por consumir 47.560 GWh, ou seja, 9,86% do consumo total. Ainda, dentro da classe de consumo referente ao setor público, a iluminação pública representou 33,33% do consumo de energia elétrica [5].

Além da substituição das luminárias convencionais, que utilizam lâmpadas de descarga a alta pressão por luminárias LED, outra maneira de reduzir o consumo de energia elétrica em redes de iluminação pública é a utilização de sistemas de dimerização. A função destes sistemas é a de diminuir a intensidade do fluxo luminoso emitido pelas fontes de luz ao longo do tempo por meio da redução da potência das luminárias [4].

Então, este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade econômico-financeira do sistema de telegestão por meio da economia de energia proporcionada pela dimerização de luminárias LED do parque de iluminação pública.

2 Material e método

A metodologia aplicada no estudo baseia-se em levantamento de campo para medição da iluminância e determinação da iluminância média, iluminância mínima e fator de uniformidade da via e calçadas de acordo com a classe de iluminação para cada tipo de via de veículos e pedestres, conforme estabelecido na norma brasileira ABNT NBR 5101:2018 – Iluminação Pública – Procedimento [6].

Foram selecionados dois trechos de via (vão de via entre dois postes consecutivos que possuem iluminação pública) para realização dos levantamentos de campo. Um trecho situado na rua Ibicaba, entre n° 130 e 160, parque Jaçatuba, cidade de Santo André/SP (localizada na região metropolitana de São Paulo). E outro trecho situado na rua Cap. Avelino Bastos, entre n° 35 e 79, centro, cidade de Cruzeiro (localizada no Vale do Paraíba). Os locais selecionados não apresentavam interferência de arborização e nem interferência de iluminação de construções residenciais ou comerciais.

Após a definição dos vãos a serem utilizados nos levantamentos de campo foram definidas e traçadas as malhas de medição seguindo as orientações contidas na norma ABNT NBR 5101:2018.

De acordo com a norma ABNT NBR 5101:2018 os pontos da malha de medição devem ser definidos pela intersecção de linhas longitudinais e transversais para o vão em estudo, sendo [6]:

- Linhas transversais
 - Linhas que passam pelas luminárias (extremidades do vão);
 - Linhas que dividem o vão em quatro partes iguais (inclui a linha que divide o vão ao meio).
- Linhas longitudinais
 - Linhas de centro das faixas de rolamento;
 - Linhas com afastamento igual a 0,1 da largura da faixa de rolamento em relação às linhas limítrofes das faixas de rolamento.

Para as calçadas também foi seguida a regra apresentada na norma ABNT NBR 5101:2018 [6]:

- Calçada com largura menor a 3,0 m:
 - Uma linha longitudinal no centro da calçada;
 - As linhas transversais em número igual e coincidente com as linhas do leito carroçável (faixa de rolamento).
- Calçada com largura igual ou maior a 3,0 m:

- Duas linhas longitudinais espaçadas entre elas em uma distância “d” e entre uma linha e a extremidade da calçada adjacente espaçada em “d/2”;
- As linhas transversais em número igual e coincidente com as linhas do leito carroçável.

Com a definição das malhas de medição procedeu-se a dimerização das luminárias que definem os vãos característicos. As luminárias adjacentes e consecutivas aos vãos também foram dimerizadas para que não influenciassem as medições de iluminância.

A dimerização foi realizada entre 100% e 30% com degrau de 10%, ou seja: (a) dimmer 100% ligado; (b) dimmer 90% ligado; (c) dimmer 80% ligado; (d) dimmer 70% ligado; (e) dimmer 60% ligado; (f) dimmer 50% ligado; (g) dimmer 40% ligado; (h) dimmer 30% ligado.

Após a realização das medições de iluminância para os níveis de dimerização foram calculadas: iluminância média, iluminância mínima e fator de uniformidade para as vias e calçadas (adjacente aos postes e oposta).

Com os valores de iluminância média e fator de uniformidade referentes a cada nível de dimerização foi realizada a reclassificação das vias e calçadas. A reclassificação foi baseada nos índices luminotécnicos indicados na norma ABNT NBR 5101:2018 e apresentados na Tabela 1 [6].

Tabela 1: Iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação – ABNT NBR 5101:2018.

Classe de iluminação	Iluminância média mínima – Emed.min. (lux)	Fator de uniformidade mínimo (U=Emin/Emed)
V1	30	0,40
V2	20	0,30
V3	15	0,20
V4	10	0,20
V5	5	0,20
Classe de iluminação	Iluminância horizontal média – Emed. (lux)	Fator de uniformidade mínimo (U=Emin/Emed)
P1	20	0,30
P2	10	0,25
P3	5	0,20
P4	3	0,20

Iluminância corresponde ao fluxo luminoso (quantidade de luz) incidente numa determinada superfície por unidade de área, ou seja, é a quantidade de luz que incide em um determinado ponto. Já, fator de uniformidade é uma métrica adimensional (variação entre zero e 1) que indica como está a distribuição da luminosidade numa determinada superfície; quanto mais próximo de 1, melhor a distribuição da luz sobre a superfície [6][7][8].

Por fim, foram realizadas análises econômico-financeiras utilizando planilhas no software Excel. As análises tiveram o objetivo de determinar o tempo de retorno do investimento no sistema de telegestão e a economia financeira proporcionada pela dimerização das luminárias ao longo do período de 13 anos. Prazo este estabelecido como tempo de vida útil das luminárias LED.

3 Resultados e discussão

Na Tabela 2 são indicados dados referentes às luminárias LED instaladas nos trechos de via localizados nas cidades de Santo André e Cruzeiro, ambas situadas no estado de São Paulo.

Tabela 2: Informações luxímetros e luminárias LED.

Cidade	Santo André	Cruzeiro
Equipamento de medição (luxímetro)		
Modelo:	LDR-225	MLM-1011
Dados das luminárias LED		
Fabricante:	01	02
Modelo:	LD-7P	DI 3000/12
Tipo de luminária:	LED	LED
Potência:	113 W	120 W
Fator de Potência (FP):	>= 0,95	>= 0,95
Temperatura de Cor Correlata (TCC):	4.000 K	4.000 K
Índice de Reprodução de Cor (IRC):	> 70	> 70

Na Tabela 3 e Tabela 4 são apresentados os valores calculados para a iluminância mínima, iluminância média e fator de uniformidade. Estes valores foram calculados utilizando os dados obtidos por meio das malhas de medição (para via e calçadas – adjacente e oposta) traçadas nas cidades de Santo André e Cruzeiro, respectivamente. São indicados os resultados para os níveis de dimerização entre

dimmer 100% ligado e dimmer 30% ligado com variações de 10%.

A Tabela 3 e Tabela 4 também apresentam as potências para as luminárias de acordo com o nível de dimerização. Os valores de potência são dados de telemetria informados pelo software de controle do sistema de telegestão.

Analisando os dados apresentados na Tabela 3 e Tabela 4 observa-se que a situação com dimmer 100% ligado representa a classe de iluminação viária padrão para as vias analisadas. Com a variação da dimerização os índices luminotécnicos apresentam variações. Assim, foi realizada a reclassificação das vias seguindo os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Analisando a Tabela 3 observa-se que para dimmer 50% ligado não são apresentados resultados de iluminância mínima, iluminância média, fator de uniformidade e potência das luminárias. Também, na Tabela 4 os mesmos parâmetros luminotécnicos não são apresentados para dimmer 80% ligado. Durante a dimerização nestes patamares foi observado que o fluxo luminoso emitido pelas luminárias apresentava instabilidade e por este motivo os dados não foram coletados.

Tabela 3: Iluminância média e fator de uniformidade - via e calçadas (Santo André/SP).

Dimerização: dimmer 100% ligado				Dimerização: dimmer 60% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
SA13992 = 121,40 W				SA13992 = 64,31 W			
SA09445 = 127,06 W				SA09445 = 61,33 W			
Iluminância mínima (Emin):	15,76	10,31	14,02	Iluminância mínima (Emin):	8,56	6,13	7,1
Iluminância média (Emed):	34,24	22,98	17,13	Iluminância média (Emed):	18,58	13,17	9,01
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,46	0,45	0,82	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,46	0,47	0,79
Classe de iluminação	V1	P1	P2	Classe de iluminação	V3	P2	P3
Dimerização: dimmer 90% ligado				Dimerização: dimmer 50% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
SA13992 = 67,89 W				SA13992 =			
SA09445 = 66,28 W				SA09445 =			
Iluminância mínima (Emin):	9,11	6,69	7,85	Iluminância mínima (Emin):			
Iluminância média (Emed):	19,3	13,16	9,82	Iluminância média (Emed):			
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,47	0,51	0,8	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):			
Classe de iluminação	V3	P2	P3	Classe de iluminação			
Dimerização: dimmer 80% ligado				Dimerização: dimmer 40% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
SA13992 = 67,47 W				SA13992 = 41,97 W			
SA09445 = 67,22 W				SA09445 = 43,11 W			
Iluminância mínima (Emin):	8,92	6,36	6,89	Iluminância mínima (Emin):	5,07	3,61	4,78
Iluminância média (Emed):	19,11	13,3	8,81	Iluminância média (Emed):	11,5	7,94	5,62
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,47	0,48	0,78	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,44	0,45	0,85
Classe de iluminação	V3	P2	P3	Classe de iluminação	V4	P3	P3
Dimerização: dimmer 70% ligado				Dimerização: dimmer 30% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
SA13992 = 70,90 W				SA13992 = 30,35 W			
SA09445 = 64,21 W				SA09445 = 28,40 W			
Iluminância mínima (Emin):	8,49	5,66	6,56	Iluminância mínima (Emin):	2,68	2,24	2,01
Iluminância média (Emed):	19,04	12,98	8,76	Iluminância média (Emed):	6,11	4,43	2,79
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,45	0,44	0,75	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,44	0,51	0,72
Classe de iluminação	V3	P2	P3	Classe de iluminação	V5	P4	n.c..

n.c.: não classificado – iluminância média calculada (2,79 lux) inferior ao limite mínimo da ABNT NBR 5101:2018 (3,0 lux).

Tabela 4: Iluminância média e fator de uniformidade - via e calçadas (Cruzeiro/SP).

Dimerização: dimmer 100% ligado				Dimerização: dimmer 60% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
Poste 01 = 121,52 W				Poste 01 = 73,03 W			
Poste 02 = 114,17 W				Poste 02 = 65,84 W			
Iluminância mínima (Emin):	5,00	3,00	8,00	Iluminância mínima (Emin):	4,00	2,00	5,00
Iluminância média (Emed):	26,07	7,20	14,40	Iluminância média (Emed):	17,03	5,00	9,60
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,19	0,42	0,56	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,23	0,40	0,52
Classe de iluminação	V2	P3	P2	Classe de iluminação	V3	P3	P3
Dimerização: dimmer 90% ligado				Dimerização: dimmer 50% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
Poste 01 = 57,74 W				Poste 01 = 92,00 W			
Poste 02 = 50,98 W				Poste 02 = 51,73 W			
Iluminância mínima (Emin):	5,00	3,00	8,00	Iluminância mínima (Emin):	3,00	2,00	4,00
Iluminância média (Emed):	25,80	7,40	14,40	Iluminância média (Emed):	13,80	4,00	8,20
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,19	0,41	0,56	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,22	0,50	0,49
Classe de iluminação	V2	P3	P2	Classe de iluminação	V4	P4	P3
Dimerização: dimmer 80% ligado				Dimerização: dimmer 40% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
Poste 01 =				Poste 01 = 42,93 W			
Poste 02 =				Poste 02 = 46,71 W			
Iluminância mínima (Emin):				Iluminância mínima (Emin):	2,00	1,00	3,00
Iluminância média (Emed):				Iluminância média (Emed):	10,47	3,00	5,60
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):				Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,19	0,33	0,54
Classe de iluminação				Classe de iluminação	V4	P4	P3
Dimerização: dimmer 70% ligado				Dimerização: dimmer 30% ligado			
Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta	Potência (telemetria):	Via	Calçada adjacente	Calçada oposta
Poste 01 = 85,36 W				Poste 01 = 28,81 W			
Poste 02 = 86,72 W				Poste 02 = 30,89 W			
Iluminância mínima (Emin):	4,00	2,00	6,00	Iluminância mínima (Emin):	1,00	1,00	2,00
Iluminância média (Emed):	20,47	5,80	11,20	Iluminância média (Emed):	5,47	1,60	3,40
Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,20	0,34	0,54	Fator de uniformidade (U=Emin/Emed):	0,18	0,63	0,59
Classe de iluminação	V2	P3	P2	Classe de iluminação	V5	n.c.	P4

n.c.: não classificado – iluminância média calculada (1,60 lux) inferior ao limite mínimo da ABNT NBR 5101:2018 (3,0 lux).

Para os patamares em que os dados não foram coletados os valores de iluminância média da via, iluminância média da calçada adjacente, iluminância média da calçada oposta e potências das luminárias foram calculados. Para realizar os cálculos os resultados apresentados na Tabela 3 e Tabela 4 foram plotados em gráficos e por meio das linhas de tendência com coeficiente de determinação R^2 igual ou maior a 0,99 foram apresentadas as respectivas equações polinomiais.

Assim, os dados da Tabela 3, referentes à cidade de Santo André/SP, foram plotados nos gráficos da Figura 1, Figura 2 e Figura 3. E, os dados da Tabela 4, referentes à cidade de Cruzeiro/SP, foram plotados nos gráficos da Figura 4, Figura 5 e Figura 6.

A Figura 1 e Figura 4 apresentam as equações polinomiais para cálculo da iluminância média das vias. Assim, realizando o cálculo determina-se que com dimmer 50% ligado a iluminância média na rua Ibicaba (Santo André/SP) seria igual a 17,16 lux (classe de iluminação V3). Já, com dimmer 80% ligado a iluminância média da rua Cap. Avelino Bastos (Cruzeiro/SP) seria igual 23,65 lux (classe de iluminação V2).

A Figura 2 e Figura 5 apresentam as equações polinomiais para cálculo da iluminância média das calçadas adjacente e oposta. Realizando os cálculos com dimmer 50% ligado na rua Ibicaba (Santo André/SP) a iluminância média das calçadas adjacente e oposta são 10,74 lux (classe de iluminação P2) e 7,74 lux (classe de iluminação P3), respectivamente. Já, com dimmer 80% ligado na rua Cap. Avelino Bastos (Cruzeiro/SP) a iluminância média das calçadas adjacente e oposta são de 6,71 lux (classe de iluminação P3) e 12,70 lux (classe de iluminação P2), respectivamente.

A Figura 3 e Figura 6 apresentam as equações polinomiais para cálculo das potências das luminárias. Realizando os cálculos determina-se que a potência das luminárias instaladas na rua Ibicaba (Santo André/SP), para dimmer 50% ligado, é de 51,90 W (poste SA13992) e 50,02 W (poste SA09445). Já, realizando os cálculos determina-se que a potência das luminárias instaladas na rua Cap. Avelino Bastos (Cruzeiro/SP), para dimmer 80% ligado, é de 89,70 W (poste 01) e 96,62 W (poste 02).

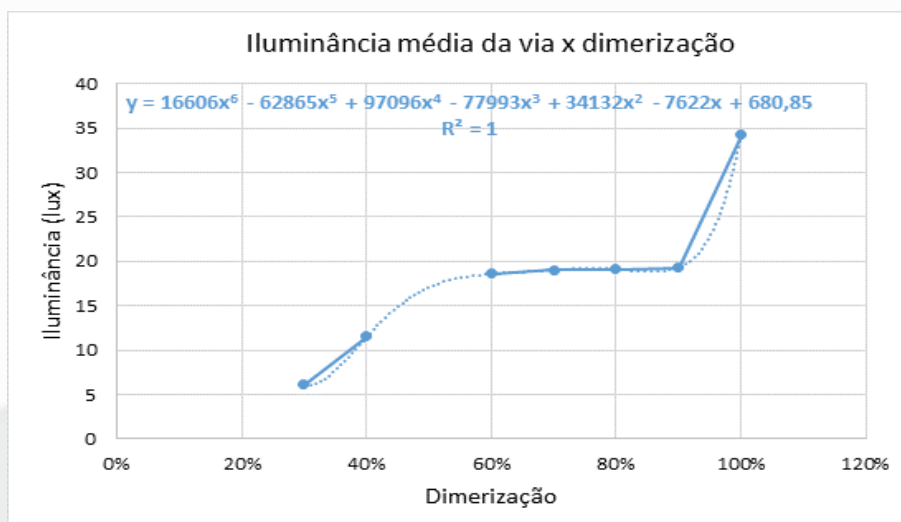


Figura 1: Iluminância média da via x dimerização - Santo André/SP.

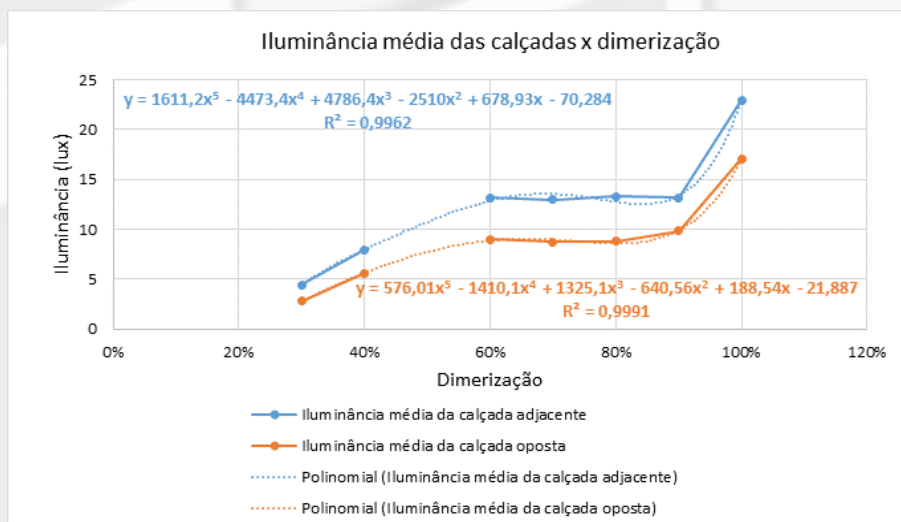


Figura 2: Iluminância média das calçadas x dimerização - Santo André/SP.

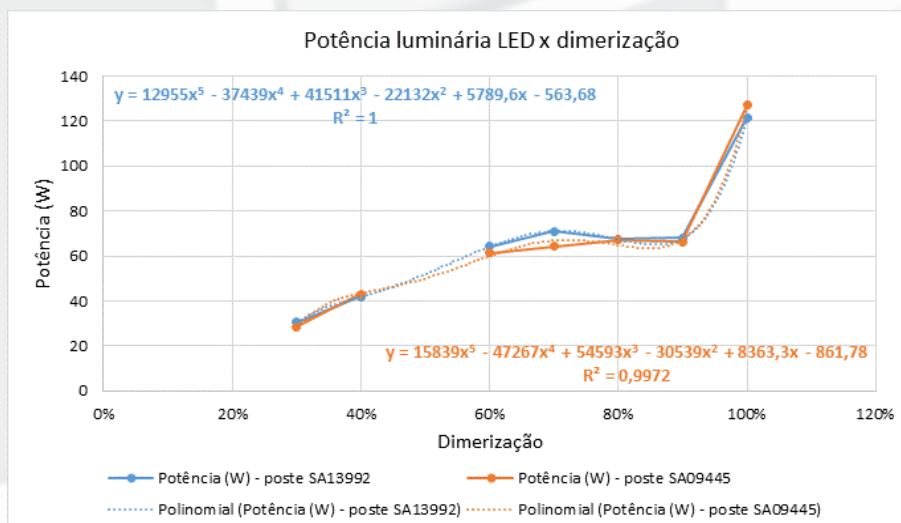


Figura 3: Potência das luminárias LED x dimerização - Santo André/SP.

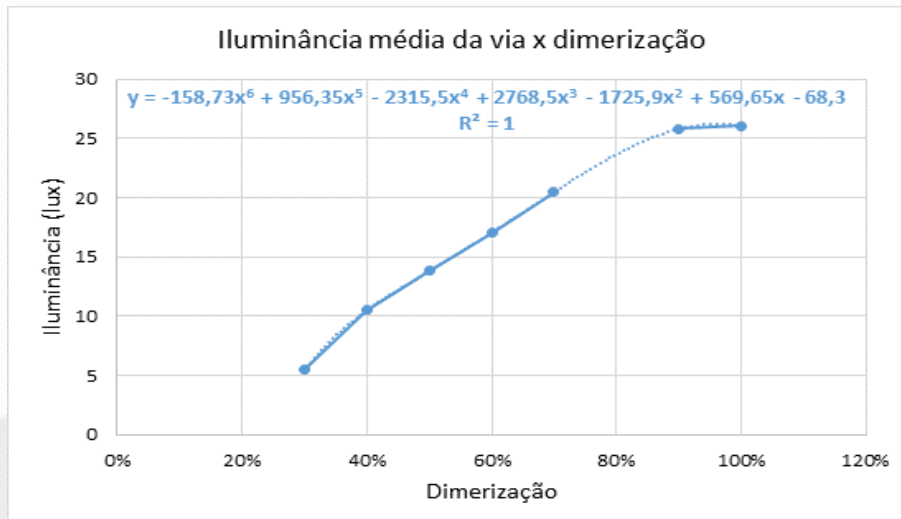


Figura 4: Iluminância média da via x dimerização - Cruzeiro/SP.

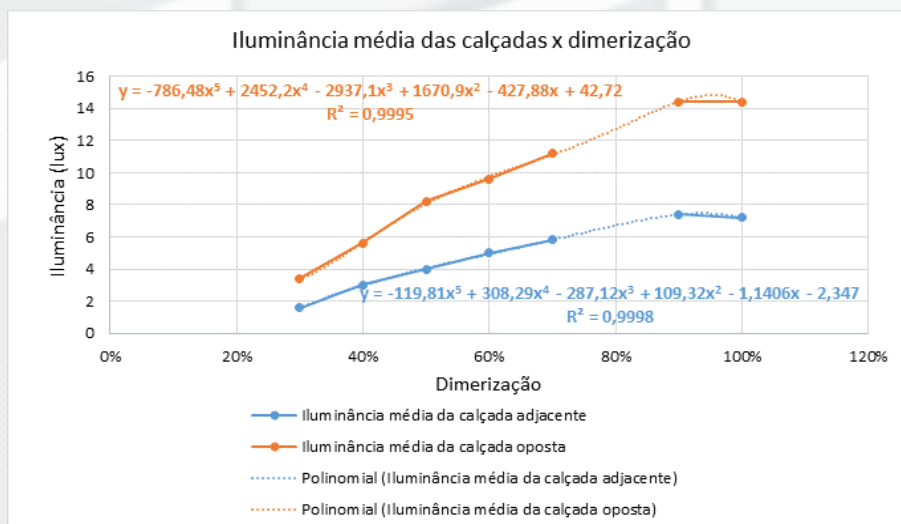


Figura 5: Iluminância média das calçadas x dimerização - Cruzeiro/SP.

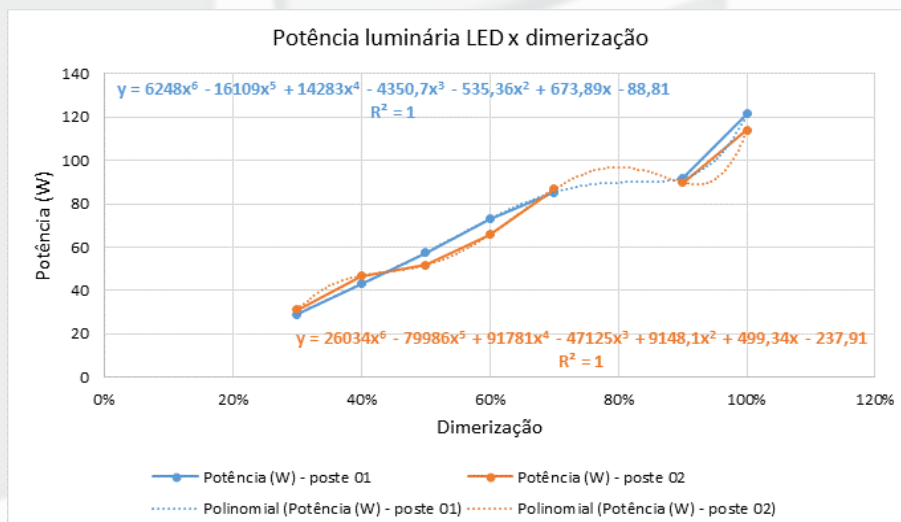


Figura 6: Potência das luminárias LED x dimerização - Cruzeiro/SP.

Assim, na Tabela 5 e Tabela 7 são apresentadas as potências das luminárias e a classificação viária de acordo com a dimerização horária diária.

São apresentadas duas situações para cada local; a primeira situação caracteriza as luminárias operando sem dimerização ao longo do tempo durante todos os dias da semana; a segunda situação representa as luminárias operando com diferentes níveis de dimerização ao longo do período noturno de acordo com o dia da semana. Observa-se que em nenhum caso foi utilizado dimmer 30% ligado pois neste patamar não foi possível realizar a reclassificação da calçada oposta (Tabela 3 – Santo André/SP) e calçada adjacente (Tabela 4 – Cruzeiro/SP). Além disso, assumiu-se como premissa que a dimerização não poderia diminuir mais do que dois níveis a classe da via tendo como base a classificação inicial na condição das luminárias operando sem dimerização.

A Tabela 5 indica que sem dimerização a classificação da rua Ibicaba (Santo André/SP) permanece como V1 em 100% do tempo ao longo da semana (80,50 horas). Já, utilizando a dimerização a classificação da via passa a operar 21,12% como V1 (17,0 horas) e 78,88% como V3 (63,50 horas).

A Tabela 7 indica que sem dimerização a classificação da rua Cap. Avelino Bastos permanece como V2 em 100% do tempo ao longo da semana (80,50 horas). Já, utilizando a dimerização a classificação da via passa a operar 42,86% como V2 (34,50 horas), 16,15% como V3 (13,0 horas) e 40,99% como V4 (33,0 horas).

O período diário de funcionamento da rede de iluminação pública foi definido de acordo com a Resolução Homologatória nº 2.590 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esta resolução define que o tempo considerado para o faturamento diário da iluminação pública nas cidades de Santo André/SP e Cruzeiro/SP é de 11h26 [9]. Aproximado para 11h30 (11,50 em decimal).

Assim, na Tabela 6 e Tabela 8 são apresentados os consumos diários, consumos semanais e consumos anuais de energia elétrica para cada uma das quatro luminárias operando sem dimerização e de forma dimerizada. Além disso, as tabelas também apresentam os valores de energia economizada anualmente com a utilização da dimerização.

Tabela 5: Potência das luminárias e classificação da via de acordo com dimerização horária diária (Santo André/SP).

Hora do dia		18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:00
Período (h)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5
Qualquer dia da semana (sem dimerização)	Dimerização	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Classificação viária	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1
	Potência (W) SA09445	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06	127,06
	Potência (W) SA13992	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40	121,40
2ª feira a 5ª feira (com dimerização)	Dimerização	70%	80%	90%	100%	100%	80%	70%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
	Classificação viária	V3	V3	V3	V1	V1	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	Potência (W) SA09445	64,21	67,22	66,28	127,06	127,06	67,22	64,21	50,02	50,02	50,02	50,02	50,02	50,02
	Potência (W) SA13992	70,90	67,47	67,89	121,40	121,40	67,47	70,90	51,90	51,90	51,90	51,90	51,90	51,90
6ª feira (com dimerização)	Dimerização	70%	80%	90%	100%	100%	100%	90%	80%	70%	60%	50%	50%	50%
	Classificação viária	V3	V3	V3	V1	V1	V1	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	Potência (W) SA09445	64,21	67,22	66,28	127,06	127,06	127,06	66,28	67,22	64,21	61,33	50,02	50,02	50,02
	Potência (W) SA13992	70,90	67,47	67,89	121,40	121,40	121,40	67,89	67,47	70,90	64,31	51,90	51,90	51,90
Sábado (com dimerização)	Dimerização	70%	80%	90%	100%	100%	100%	100%	90%	80%	60%	50%	50%	50%
	Classificação viária	V3	V3	V3	V1	V1	V1	V1	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	Potência (W) SA09445	64,21	67,22	66,28	127,06	127,06	127,06	127,06	66,28	67,22	61,33	50,02	50,02	50,02
	Potência (W) SA13992	70,90	67,47	67,89	121,40	121,40	121,40	121,40	67,89	67,47	64,31	51,90	51,90	51,90
Domingo (com dimerização)	Dimerização	70%	80%	90%	100%	100%	80%	70%	60%	50%	50%	50%	50%	50%
	Classificação viária	V3	V3	V3	V1	V1	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	Potência (W) SA09445	64,21	67,22	66,28	127,06	127,06	67,22	64,21	61,33	50,02	50,02	50,02	50,02	50,02
	Potência (W) SA13992	70,90	67,47	67,89	121,40	121,40	67,47	70,90	64,31	51,90	51,90	51,90	51,90	51,90

Tabela 6: Redução do consumo anual de energia elétrica (Santo André/SP).

Dia da semana	Poste SA09445			Poste SA13992		
	Consumo (Wh) sem dimerização	Consumo (Wh) com dimerização	Redução (%)	Consumo (Wh) sem dimerização	Consumo (Wh) com dimerização	Redução (%)
Segunda-feira	1.461,17	808,35	44,68%	1.396,11	820,99	41,19%
Terça-feira	1.461,17	808,35	44,68%	1.396,11	820,99	41,19%
Quarta-feira	1.461,17	808,35	44,68%	1.396,11	820,99	41,19%
Quinta-feira	1.461,17	808,35	44,68%	1.396,11	820,99	41,19%
Sexta-feira	1.461,17	912,95	37,52%	1.396,11	918,89	34,18%
Sábado	1.461,17	975,80	33,22%	1.396,11	969,39	30,57%
Domingo	1.461,17	819,66	43,90%	1.396,11	833,40	40,31%
Consumo semanal (Wh)	10.228,17	5.941,79	41,91%	9.772,78	6.005,61	38,55%
N° semanas no ano	52	52	-----	52	52	-----
Consumo anual (Wh)	531.864,79	308.972,92	41,91%	508.184,59	312.291,93	38,55%
Energia economizada anual (Wh)	222.891,86		-----	195.892,66		-----

Tabela 7: Potência das luminárias e classificação viária de acordo com dimerização horária diária (Cruzeiro/SP).

Hora do dia		18:30	19:30	20:30	21:30	22:30	23:30	00:30	01:30	02:30	03:30	04:30	05:30	06:00
Período (h)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5
Qualquer dia da semana (sem dimerização)	Dimerização	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Classificação viária	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2	V2
	Potência (W) Poste 01	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52	121,52
2ª feira a 5ª feira com dimerização)	Potência (W) Poste 02	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17	114,17
	Dimerização	40%	60%	70%	80%	100%	70%	60%	50%	40%	40%	40%	40%	40%
	Classificação viária	V4	V3	V2	V2	V2	V2	V3	V4	V4	V4	V4	V4	V4
6ª feira (com dimerização)	Potência (W) Poste 01	42,93	73,03	85,36	89,70	121,52	85,36	73,03	57,38	42,93	42,93	42,93	42,93	42,93
	Potência (W) Poste 02	46,71	65,84	86,72	96,62	114,17	86,72	65,84	51,73	46,71	46,71	46,71	46,71	46,71
	Dimerização	40%	60%	70%	100%	100%	80%	70%	60%	50%	40%	40%	40%	40%
Sábado (com dimerização)	Classificação viária	V4	V3	V2	V2	V2	V2	V2	V3	V4	V4	V4	V4	V4
	Potência (W) Poste 01	42,93	73,03	85,36	121,52	121,52	89,70	85,36	73,03	57,38	42,93	42,93	42,93	42,93
	Potência (W) Poste 02	46,71	65,84	86,72	114,17	114,17	96,62	86,72	65,84	51,73	46,71	46,71	46,71	46,71
Domingo (com dimerização)	Dimerização	40%	60%	70%	100%	100%	70%	60%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
	Classificação viária	V4	V3	V2	V2	V2	V2	V3	V4	V4	V4	V4	V4	V4
	Potência (W) Poste 01	42,93	73,03	85,36	121,52	121,52	85,36	73,03	57,38	57,38	57,38	57,38	57,38	57,38
Domingo (com dimerização)	Potência (W) Poste 02	46,71	65,84	86,72	114,17	114,17	86,72	65,84	51,73	51,73	51,73	51,73	51,73	51,73

Tabela 8: Redução do consumo anual de energia elétrica (Cruzeiro/SP).

Dia da semana	Poste 01			Poste 02		
	Consumo (Wh) sem dimerização	Consumo (Wh) com dimerização	Redução (%)	Consumo (Wh) sem dimerização	Consumo (Wh) com dimerização	Redução (%)
Segunda-feira	1.397,48	778,57	44,29%	1.312,96	777,84	40,76%
Terça-feira	1.397,48	778,57	44,29%	1.312,96	777,84	40,76%
Quarta-feira	1.397,48	778,57	44,29%	1.312,96	777,84	40,76%
Quinta-feira	1.397,48	778,57	44,29%	1.312,96	777,84	40,76%
Sexta-feira	1.397,48	857,16	38,66%	1.312,96	845,30	35,62%
Sábado	1.397,48	1.010,18	27,71%	1.312,96	1.004,34	23,51%
Domingo	1.397,48	860,96	38,39%	1.312,96	812,96	38,08%
Consumo semanal (Wh)	9.782,36	5.842,56	40,27%	9.190,69	5.773,93	37,18%
N° semanas no ano	52	52	-----	52	52	-----
Consumo anual (Wh)	508.682,72	303.812,86	40,27%	477.915,62	300.244,36	37,18%
Energia economizada anual (Wh)	204.869,86		-----	177.671,26		-----

Analisando os dados apresentados na Tabela 6, observa-se que a dimerização proporcionaria redução de 41,91% na quantidade de energia elétrica consumida pela luminária instalada no poste SA09445. E, para a luminária instalada no poste SA13992 a redução seria de 38,55%. Ou seja, para o vão a redução média no consumo anual de energia elétrica seria de 40,23%.

E, analisando os dados apresentados na Tabela 8, observa-se que a dimerização proporcionaria redução de 40,27% na quantidade de energia elétrica consumida pela luminária instalada no poste 01. E, para a luminária instalada no poste 02 a redução seria de 37,18%. Ou seja, para o vão a redução média do consumo anual de energia elétrica seria de 38,73%.

Com a redução do consumo anual de energia elétrica alcançado com a operação da dimerização das luminárias é possível realizar a avaliação econômico-financeira do investimento no sistema de telegestão.

Para avaliação econômico-financeira é necessário considerar algumas premissas. Além dos dados de redução do consumo anual de energia elétrica apresentados na Tabela 6 e Tabela 8, deve-se observar os valores de aquisição e instalação dos equipamentos, custos anuais de O&M, valores de tarifas de energia elétrica e taxa de juros.

Os custos de instalação e custos anuais de O&M referem-se a média de três valores obtidos em consulta a fornecedores.

Para os custos de instalação (custo capex) do sistema de telegestão foram considerados:

- Custo do controlador: R\$ 365,28;
- Custo do concentrador por controlador: R\$ 4,78;
- Custo de comissionamento do sistema por controlador: R\$ 19,90.

Para os custos anuais de O&M (custo opex) do sistema de telegestão foram considerados:

- Custo de manutenção do sistema por controlador: R\$ 3,00;
- Custo do chip para acesso móvel por controlador: R\$ 0,66;

- Custo do servidor nuvem por controlador: R\$ 1,15.

Assim, o investimento inicial na instalação de um ponto de telegestão é de aproximadamente R\$ 389,96. E, o custo inicial de O&M do sistema de telegestão é de R\$ 4,81.

Para a correção anual do custo de O&M do sistema de telegestão foi aplicada a taxa de 7,65%aa. Esta taxa representa o valor médio do Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M) anual acumulado entre os anos de 2000 e 2019 [10].

Para os valores de taxa de energia elétrica aplicada à iluminação pública foram analisadas as Resoluções Homologatórias (REH) da ANEEL que fixam a Tarifa de Energia (TE) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) para as empresas ENEL (Santo André/SP) e EDP (Cruzeiro/SP). A Tabela 9 apresenta os valores da taxa de energia (TE e TUSD) e o aumento médio para o período de 2015 a 2021 [11]. O aumento médio foi aplicado na atualização dos valores anuais da taxa de energia elétrica ao longo do período de 13 anos considerado nas análises.

Para determinação do fluxo de caixa descontado e cálculo do payback descontado foi considerada a taxa de juros anual de 9,90%aa. Esta taxa refere-se a média dos valores da taxa de juros do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) para o período de 2010 a 2019 disponível no site do Banco Central do Brasil [12].

Tabela 9: Aumento médio da tarifa de energia B4b.

Tarifa de energia B4b – 2015 a 2021			
ENEL (Santo André/SP)		EDP (Cruzeiro/SP)	
Resolução Homologatória ANEEL n°:	TE + TUSD (R\$/kWh)	Resolução Homologatória ANEEL n°:	TE + TUSD (R\$/kWh)
1.844/2015	0,18765	1.809/2014	0,22419
1.858/2015	0,22764	1.858/2015	0,26356
1.920/2015	0,26167	1.973/2015	0,30035
2.013/2016	0,24265	2.158/2016	0,24179
2.263/2017	0,25176	2.315/2017	0,29238
2.412/2018	0,29018	2.469/2018	0,33692
2.568/2019	0,30936	2.629/2019	0,31544
2.719/2020	0,32051	2.790/2020	0,32767
Aumento médio (%aa):	6,92	Aumento médio (%aa):	4,85

Assim, a Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13 apresentam as análises econômico-financeiras para cada uma das quatro luminárias dimerizadas.

Os dados da Tabela 10 e Tabela 11 indicam que o payback para as luminárias instaladas nos postes SA09445 e SA13992 ocorreria em 6,86 anos e 8,03 anos, respectivamente. Ainda, a economia proporcionada pela redução do consumo de energia após a amortização total do investimento seria de: poste SA09445: R\$ 286,17; poste SA13992: R\$ 198,14.

Os dados da Tabela 12 e Tabela 13 indicam que o payback para as luminárias instaladas no poste 01 e poste 02 ocorreria em 7,99 anos e 9,75 anos, respectivamente. Ainda, a economia proporcionada pela redução do consumo de energia após a amortização total do investimento seria de: poste 01: R\$ 173,57; poste 02: R\$ 92,04.

A diferença entre os tempos de retorno e economia proporcionada se devem a dois fatores: quantidade de energia economizada; custo da energia elétrica destinada a iluminação pública.

A quantidade de energia economizada será determinada pelos níveis de dimerização admitidos para cada via ao longo

do período noturno. Por isso, é fundamental que o procedimento para reclassificação de uma via ao longo do período noturno seja normatizado pela futura versão da norma ABNT NBR 5101.

Além disso, observa-se que para o mesmo modelo de luminária, seguindo os mesmos níveis de dimerização ao longo da semana, a quantidade de energia economizada variou. Para as luminárias instaladas na cidade de Santo André/SP a variação foi de 12,11% e na cidade de Cruzeiro/SP foi de 13,28%. Por isso, é fundamental que o procedimento de faturamento do consumo individual realizado por meio da telemetria do sistema de telegestão seja normatizado.

Já, o custo da energia elétrica destinada a iluminação pública varia entre as distribuidoras de energia elétrica e dependem de determinações aplicadas pela ANEEL.

Observa-se que o aumento médio (6,92%aa) da taxa de energia elétrica da ENEL aplicada à iluminação pública foi 33,82% maior que o aumento médio (4,58%aa) aplicado à taxa da EDP.

Tabela 10: Análise econômica e cálculo do payback descontado – poste SA09445 (Santo André/SP).

Ano	Período (ano)	Taxa de energia (TE + TUSD) (R\$/kWh)	Energia economizada (kWh)	Economia energia (R\$)	Custo O&M telegestão (R\$/ponto)	Investimento telegestão (R\$)	Fluxo caixa (R\$)	Fluxo caixa descontado (R\$)	Saldo (R\$)
2020	1	0,32051	222,892	71,43	4,81	R\$ 389,96	-R\$ 323,34	-R\$ 323,34	-R\$ 323,34
2021	2	0,34268	222,892	76,38	5,17	-----	R\$ 71,21	R\$ 58,96	-R\$ 264,38
2022	3	0,36639	222,892	81,66	5,56	-----	R\$ 76,10	R\$ 57,33	-R\$ 207,05
2023	4	0,39174	222,892	87,31	5,98	-----	R\$ 81,33	R\$ 55,75	-R\$ 151,30
2024	5	0,41884	222,892	93,35	6,43	-----	R\$ 86,92	R\$ 54,22	-R\$ 97,08
2025	6	0,44782	222,892	99,81	6,92	-----	R\$ 92,89	R\$ 52,72	-R\$ 44,36
2026	7	0,47880	222,892	106,72	7,44	-----	R\$ 99,28	R\$ 51,27	R\$ 6,91
2027	8	0,51193	222,892	114,10	8,00	-----	R\$ 106,10	R\$ 49,86	R\$ 56,77
2028	9	0,54735	222,892	121,99	8,61	-----	R\$ 113,38	R\$ 48,48	R\$ 105,25
2029	10	0,58522	222,892	130,44	9,26	-----	R\$ 121,18	R\$ 47,15	R\$ 152,39
2030	11	0,62571	222,892	139,46	9,96	-----	R\$ 129,50	R\$ 45,85	R\$ 198,24
2031	12	0,66900	222,892	149,11	10,72	-----	R\$ 138,39	R\$ 44,58	R\$ 242,82
2032	13	0,71529	222,892	159,43	11,54	-----	R\$ 147,89	R\$ 43,35	R\$ 286,17
Taxa de juros anual (%) - SELIC									9,90%
Payback descontado (anos)									6,86

Tabela 11: Análise econômica e cálculo do payback descontado – poste SA13992 (Santo André/SP).

Ano	Período (ano)	Taxa de energia (TE + TUSD) (R\$/kWh)	Energia economizada (kWh)	Economia energia (R\$)	Custo O&M telegestão (R\$/ponto)	Investimento telegestão (R\$)	Fluxo caixa (R\$)	Fluxo caixa descontado (R\$)	Saldo (R\$)
2020	1	0,32051	195,893	62,78	4,81	R\$ 389,96	-R\$ 331,99	-R\$ 331,99	-R\$ 331,99
2021	2	0,34268	195,893	67,12	5,17	-----	R\$ 61,95	R\$ 51,29	-R\$ 280,70
2022	3	0,36639	195,893	71,77	5,56	-----	R\$ 66,21	R\$ 49,88	-R\$ 230,82
2023	4	0,39174	195,893	76,73	5,98	-----	R\$ 70,75	R\$ 48,50	-R\$ 182,32
2024	5	0,41884	195,893	82,04	6,43	-----	R\$ 75,61	R\$ 47,16	-R\$ 135,16
2025	6	0,44782	195,893	87,72	6,92	-----	R\$ 80,80	R\$ 45,86	-R\$ 89,30
2026	7	0,47880	195,893	93,79	7,44	-----	R\$ 86,35	R\$ 44,59	-R\$ 44,70
2027	8	0,51193	195,893	100,28	8,00	-----	R\$ 92,28	R\$ 43,36	-R\$ 1,34
2028	9	0,54735	195,893	107,22	8,61	-----	R\$ 98,61	R\$ 42,16	R\$ 40,82
2029	10	0,58522	195,893	114,64	9,26	-----	R\$ 105,38	R\$ 41,00	R\$ 81,82
2030	11	0,62571	195,893	122,57	9,96	-----	R\$ 112,61	R\$ 39,87	R\$ 121,69
2031	12	0,66900	195,893	131,05	10,72	-----	R\$ 120,33	R\$ 38,76	R\$ 160,45
2032	13	0,71529	195,893	140,12	11,54	-----	R\$ 128,58	R\$ 37,69	R\$ 198,14
Taxa de juros anual (%) - SELIC									9,90%
Payback descontado (anos)									8,03

Tabela 12: Análise econômica e cálculo do payback descontado – poste 01 (Cruzeiro/SP).

Ano	Período (ano)	Taxa de energia (TE + TUSD) (R\$/kWh)	Energia economizada (kWh)	Economia energia (R\$)	Custo O&M telegestão (R\$/ponto)	Investimento telegestão (R\$)	Fluxo caixa (R\$)	Fluxo caixa descontado (R\$)	Saldo (R\$)
2020	1	0,32767	204,87	67,12	4,81	R\$ 389,96	-R\$ 327,65	-R\$ 327,65	-R\$ 327,65
2021	2	0,34356	204,87	70,38	5,17	-----	R\$ 65,21	R\$ 53,99	-R\$ 273,66
2022	3	0,36022	204,87	73,79	5,56	-----	R\$ 68,23	R\$ 51,40	-R\$ 222,26
2023	4	0,37769	204,87	77,37	5,98	-----	R\$ 71,39	R\$ 48,94	-R\$ 173,32
2024	5	0,39600	204,87	81,12	6,43	-----	R\$ 74,69	R\$ 46,59	-R\$ 126,73
2025	6	0,41520	204,87	85,06	6,92	-----	R\$ 78,14	R\$ 44,35	-R\$ 82,38
2026	7	0,43533	204,87	89,18	7,44	-----	R\$ 81,74	R\$ 42,21	-R\$ 40,17
2027	8	0,45644	204,87	93,51	8,00	-----	R\$ 85,51	R\$ 40,18	R\$ 0,01
2028	9	0,47857	204,87	98,04	8,61	-----	R\$ 89,43	R\$ 38,24	R\$ 38,25
2029	10	0,50178	204,87	102,79	9,26	-----	R\$ 93,53	R\$ 36,39	R\$ 74,64
2030	11	0,52611	204,87	107,78	9,96	-----	R\$ 97,82	R\$ 34,63	R\$ 109,27
2031	12	0,55162	204,87	113,01	10,72	-----	R\$ 102,29	R\$ 32,95	R\$ 142,22
2032	13	0,57837	204,87	118,49	11,54	-----	R\$ 106,95	R\$ 31,35	R\$ 173,57
Taxa de juros anual (%) - SELIC									9,90%
Payback descontado (anos)									7,99

Tabela 13: Análise econômica e cálculo do payback descontado – poste 02 (Cruzeiro/SP).

Ano	Período (ano)	Taxa de energia (TE + TUSD) (R\$/kWh)	Energia economizada (kWh)	Economia energia (R\$)	Custo O&M telegestão (R\$/ponto)	Investimento telegestão (R\$)	Fluxo caixa (R\$)	Fluxo caixa descontado (R\$)	Saldo (R\$)
2020	1	0,32767	177,67	58,21	4,81	R\$ 389,96	-R\$ 336,56	-R\$ 336,56	-R\$ 336,56
2021	2	0,34356	177,67	61,04	5,17	-----	R\$ 55,87	R\$ 46,26	-R\$ 290,30
2022	3	0,36022	177,67	64,00	5,56	-----	R\$ 58,44	R\$ 44,03	-R\$ 246,28
2023	4	0,37769	177,67	67,10	5,98	-----	R\$ 61,12	R\$ 41,90	-R\$ 204,38
2024	5	0,39600	177,67	70,35	6,43	-----	R\$ 63,92	R\$ 39,87	-R\$ 164,51
2025	6	0,41520	177,67	73,76	6,92	-----	R\$ 66,84	R\$ 37,94	-R\$ 126,57
2026	7	0,43533	177,67	77,34	7,44	-----	R\$ 69,90	R\$ 36,10	-R\$ 90,47
2027	8	0,45644	177,67	81,09	8,00	-----	R\$ 73,09	R\$ 34,35	-R\$ 56,13
2028	9	0,47857	177,67	85,02	8,61	-----	R\$ 76,41	R\$ 32,67	-R\$ 23,46
2029	10	0,50178	177,67	89,15	9,26	-----	R\$ 79,89	R\$ 31,08	R\$ 7,63
2030	11	0,52611	177,67	93,47	9,96	-----	R\$ 83,51	R\$ 29,56	R\$ 37,19
2031	12	0,55162	177,67	98,00	10,72	-----	R\$ 87,28	R\$ 28,12	R\$ 65,31
2032	13	0,57837	177,67	102,75	11,54	-----	R\$ 91,21	R\$ 26,73	R\$ 92,04
Taxa de juros anual (%) - SELIC									9,90%
Payback descontado (anos)									9,75

4 Conclusão

O estudo indica que a quantidade de energia economizada será determinada pelos níveis de dimerização admitidos para cada via ao longo do período noturno. As análises indicam que a dimerização dos trechos de via V1 e V2 pode representar redução média de 39,47% no consumo anual de energia elétrica nesses trechos (40,23% de redução em via V1 e 38,72% em via V2). Por isso, é fundamental que o procedimento para reclassificação de uma via ao longo do período noturno seja normatizado pela futura versão da norma ABNT NBR 5101.

Além disso, foi observado que a quantidade de energia economizada variou para o mesmo modelo de luminária seguindo os mesmos níveis de dimerização horária. A variação média entre os dois modelos foi de 12,70%, variação de 12,11% entre as luminárias do fabricante 01 e 13,28% nas luminárias do fabricante 02. Ou seja, as respostas das luminárias ao sistema de telegestão não são lineares com impacto direto na economia de energia. Por isso, é fundamental que a fabricação e comercialização de equipamentos de telegestão seja normatizada pelo INMETRO

por meio de regulamento técnico de qualidade como a portaria N° 20 (de 15 de fevereiro de 2017) que estabelece os requisitos obrigatórios referentes ao desempenho e segurança de luminárias para iluminação pública viária.

Dessa forma o faturamento destinado à iluminação pública poderá ser implementado em concordância com o Despacho n° 0368 da ANEEL de 11 de fevereiro de 2020. Este procedimento aprova o Manual de Instruções do artigo 26 da Resolução Normativa n° 414/2010 da ANEEL para operacionalizar o faturamento destinado à iluminação pública caso sejam instalados equipamentos automáticos de controle de carga. Sendo que o capítulo 6 apresenta a metodologia aplicada para estimativa do consumo pelo período de utilização, carga e eventos de dimerização.

Por fim, a instabilidade observada nas medições de campo evidencia a necessidade de assegurar a perfeita comunicação entre o controlador e a luminária LED. Assim, a diferença observada nos resultados da dimerização serão objeto de estudos futuros.

Referências

- [1] Radulovic, D. et al. Energy efficiency public lighting management in the cities. *Energy*, 36, p. 1908-1915, 2011.
- [2] Campos, J. G.; Lopes Jr., L. C. Eficiência energética em sistema de iluminação pública utilizando luminárias LED. *Revista de Eficiência Energética. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica*. Junho de 2017. 3 ed. pp. 33 – 35.
- [3] Oliveira, R.D. Benefícios das luminárias LED para o setor de iluminação pública brasileiro. *Espaço Energia*, 33, pp. 21 – 32, 2020. Disponível em <<http://www.espacoenergia.com.br/espacoenergia/edicoes/33/33a.htm>>. Acesso em: 02 nov. 2020.
- [4] Gaston, K. J. A green light for efficiency. *Nature*, 497. 2013. Disponível em <<http://www.nature.com>>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 – ano base 2019. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5101: Iluminação pública – Procedimento. Rio de Janeiro, p. 43. 2018.
- [7] Mamede Filho, J. Instalações elétricas industriais. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- [8] Cavalin, G. Instalações elétricas prediais: conforme norma NBR 5410:2004. 22 ed. São Paulo: Érica, 2014.
- [9] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Homologatória n° 2.590. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192590ti.pdf>>. Acesso em: 30 de ago. 2020.
- [10] Fundação Getúlio Vargas (FGV). Séries institucionais FGV (consultas gratuitas) – Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M). Disponível em <<http://www14.fgv.br/fgvdados20/Consulta.aspx>>. Acesso em: 05 set. 2020.
- [11] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Biblioteca Virtual. Disponível em <<https://biblioteca.aneel.gov.br/index.html>>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- [12] Banco Central do Brasil (BCB). Dados diários do Selic (Sistema Especial de Liquidação e de Custódio). Disponível em <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/selicdadadosdiarios>>. Acesso em: 30 de ago. 2020.