

ILUMINAÇÃO

A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Artigo publicado na Revista Mundo Elétrico - nº 35 - ano 30 - maio/1989 - pág. 44 a 48

Este trabalho aborda uma possibilidade de se reduzir o consumo de energia elétrica no setor de iluminação pública. Baseia-se na redução concomitante dos índices de iluminamento e tensões de alimentação do conjunto (lâmpada e reator), dentro de limites aceitáveis.

A grave crise econômica que ora se presencia no Brasil afeta fortemente o setor elétrico, o qual, sem a capacidade de grandes investimentos, vem sofrendo cada vez mais com os crescentes custos de implantação de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia. Nesta situação, o que se percebe é uma preocupação também crescente com a realização do consumo de energia, principalmente por parte das empresas do setor. Medidas de conservação de energia são buscadas intensamente, devido ao seus baixos custos de implantação (custo de oportunidade altamente competitivos), permitindo desse modo o crescimento do mercado consumidor, através de investimentos relativamente modestos.

Dos diversos setores a serem envolvidos a serem envolvidos com a racionalização do consumo, pode ser significativa a participação da iluminação pública que, no sistema interligado Sudeste/Sul, corresponde a 6,5% da energia total consumida. É evidente que em outras regiões este percentual seja mais elevado, devido à menor participação do setor industrial. Segundo o Procel, 12% do consumo global de energia elétrica no Brasil (6000 MW de potência instalada), corresponde a iluminação de pública.

Ocorre que embora os níveis de iluminação recomendados para os diversos tipos de vias com os tráfegos de pedestres e veículos, o sistema de iluminação pública brasileiro estabelece um nível de iluminação pública brasileiro estabelece um nível de iluminamento constante, desde o instante do seu acendimento até o seu apagamento. O pior desta situação é que o dimensionamento é feito em função do tráfego mais intenso, fato que é recomendável para as primeiras horas da noite, mas que representa um desperdício recomendável para os períodos da madrugada.

Assim sendo, pode-se utilizar tal características, a fim de se propiciar uma economia de energia no setor de iluminação pública, sem prejuízos sociais, uma vez que é possível, através de equipamentos específicos, a obtenção de ajustes que permitam adequar os níveis de iluminamento às necessidades, variando-os no decorrer da noite. Em termos práticos, porém não é necessário que as variações sejam contínuas ou com grande frequência, bastando apenas dois ou três níveis de iluminamento ao longo de cada período noturno, para a obtenção de uma economia significativa, sem qualquer efeito doloso.

O equipamento enfocado por este trabalho tem a finalidade de propiciar as facilidades anteriormente exposta e custos competitivos e viáveis economicamente, e de forma suficientemente flexível, permitir uma adequabilidade às necessidades, em função dos recursos energéticos, atendendo assim aos requisitos de economia a cada época.

Entretanto, é evidente que embora concebido com a finalidade de economizar energia elétrica na iluminação pública, tal equipamento pode ter seu uso estendido a muitas outras aplicações, desde que devidamente adaptado.

Esta idéia de se aplicar um equipamento para racionalizar o consumo de energia elétrica na iluminação pública já consta um processo de registro de patente devidamente encaminhado ao órgão competente e o desenvolvimento do equipamento e testes complementares estão em fase de conclusão.

CARACTERÍSTICA DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA QUANTO ÀS VIAS

A ABNT classifica as vias com relação à sua natureza em classes A, B e C, correspondendo a vias urbanas, respectivamente. As vias rurais são ainda subdivididas em arteriais, coletoras e locais.

Vias arteriais (classe A1)

São aquelas exclusivas para tráfego motorizado que se caracterizam por grande mobilidade e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista.

Vias coletoras (classe A2)

São exclusivas para tráfego motorizado e se caracterizam por uma mobilidade de tráfego inferior a acesso de tráfego superior àquelas das vias arteriais.

Artigo elaborado por Alexandre César M. Moura, Prof da Universidade do Amazonas e João R. Cogo, Héctor Arango, Jocélio Souza de Sá e Júlio César Tibúrcio, Professores da Escola Federal de Eng. de Itajubá

Vias locais (classe A3)

São aquelas que permitem acesso às propriedades rurais em grande número e pequenas mobilidades de tráfego.

Vias de ligação (classe B)

São ligações de centros urbanos e suburbanos, porém não pertencendo ao grupo anterior, e geralmente só têm importância para o tráfego local.

Classe de vias	A3, B, C			A1	A2
	Volume do tráfego motorizado			Velocidade alta	Velocidade média
Tráfego de veículos	Leve	Médio	Intenso		
Leve	2	5	10	-	20
Tráfego de médio	5	10	14	-	-
Pedestre de intenso	10	14	17	-	-
Sem	-	-	-	20	-

Iluminamento médios horizontais (lux)

Vias urbanas (classe C)

São caracterizadas pela existência de construção ao longo da via e a presença de tráfego motorizado e de pedestre em maior ou menor escala.

Outra classificação importante é aquela que define o volume de tráfego motorizado nas vias, a saber:

- Tráfego leve: 150 a 500 veículos/hora
- Tráfego médio: 500 a 1200 veículos/hora
- Tráfego intenso: acima de 1200 veículos/hora

Também é importante a classificação relativa ao tráfego de pedestres:

- Sem tráfego de pedestre - como nas vias de classe A;
- Tráfego leve - como nas ruas residenciais;
- Tráfego médio - como nas ruas comerciais secundárias;
- Tráfego intenso - como nas ruas comerciais principais.

Evidentemente, a escolha do nível de iluminamento adequado a uma determinada via é função de sua classificação, conforme anteriormente descrito.

A tabela 1 dá uma referência para definição do nível iluminamento de vias públicas, em função de sua caracterização:

Observa-se da tabela que os níveis de iluminamento requerido são significativamente influenciados pelos tráfegos de veículos e pedestres.

Evidentemente, tais tráfegos são variáveis ao longo da noite, sendo utilizados para a definição do nível de iluminamento seus valores máximos, correspondentes às horas de maior movimento, o que leva a concluir que, para os demais horários,

notadamente nos períodos da madrugada, os níveis de iluminamento mantidos nas diversas vias tornam-se bastante superiores àquelas que seriam recomendados.

Depreende-se daí que tal fato tem levado a um consumo excessivo de energia por parte do setor de iluminação pública, devido à sua não adaptabilidade às diferentes exigências.

COMPORTAMENTO DAS LÂMPADAS UTILIZADAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

As lâmpadas mais utilizadas na iluminação pública são as incandescentes, a vapor de mercúrio, mistas e a vapor de sódio, cada qual com características e empregadas de acordo com os requisitos exigidos. Tais lâmpadas, apesar de sua peculiaridade, apresentam comportamentos similares, no que diz respeito à potência consumida e em relação à tensão de alimentação. Assim, para tensões nominais têm-se valores nominais de potência e fluxo luminoso em cada uma delas. Variando-se as tensões, variam também no mesmo sentido, a potência e o fluxo luminoso (Fig.1).

DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO

Compondo-se basicamente da associação de um "timer" programável com um elemento redutor de tensão, o dispositivo utiliza, como filosofia básica de funcionamento, a redução automática de sua tensão da saída, após período (s) pré-definido (s), estabelecido (s) a partir do instante de seu acionamento. Estando sua concepção, a princípio, associada à utilização junto a circuitos de iluminação pública, sua descrição será enfocada sob este contexto. A fim de maiores esclarecimentos serão, inicialmente, tecidos alguns comentários a respeito de sistema de acionamento automático dos circuitos de iluminação pública, para então apresentar a descrição global.

Sistema de acionamento automático dos circuitos de iluminação pública

Conforme apresentado na Fig. 1, o acionamento automático dos circuitos de iluminação pública é realizado por intermédio de células fotoelétricas.

Havendo baixa luminosidade, por ocasião do anoitecer, os circuitos são fechados e tensões plenas (entre fase-fase ou fase-neutro), necessária ao processo de acendimento, são aplicadas sobre as lâmpadas.

Transcorrido o tempo de ignição, intrínseco a estas lâmpadas, elas são automaticamente acesas. Por outro lado, havendo elevação da luminosidade, por ocasião do amanhecer, os circuitos são reabertos e as lâmpadas apagadas.

Funcionamento da associação do dispositivo redutor de tensão com o sistema automático dos circuitos de iluminação pública

Conforme observado na Fig. 2, o dispositivo redutor de tensão, de maneira simples, apenas implementa o esquema automático de acionamento ora existente nos circuitos de iluminação pública.

O dispositivo mostrado na Fig. 2 efetua o comando em grupo, porém não se descarta a possibilidade de se ter um equipamento redutor de tensão para as lâmpadas, individualmente.

Havendo baixa luminosidade, o circuito é fechado e tensão plena é aplicada, agora, sobre este dispositivo, proporcionando, internamente, a excitação do “timer” programável e a permissão, pelo circuito redutor de tensão, de saída de tensão plena às lâmpadas.

Após a extinção do tempo pré-ajustado na “timer”, há uma redução da tensão de saída para as lâmpadas, havendo a partir deste instante, a redução tanto da luminosidade (a níveis aceitáveis) quando no consumo de energia na iluminação pública.

Há que se ressaltar que sendo o “timer” programável, este ciclo de “luminosidade norma/luminosidade reduzida” poderá se efetuar em mais de uma vez, dando, então, flexibilidade operativa para a adequação da luminosidade com as necessidades das várias fases da noite.

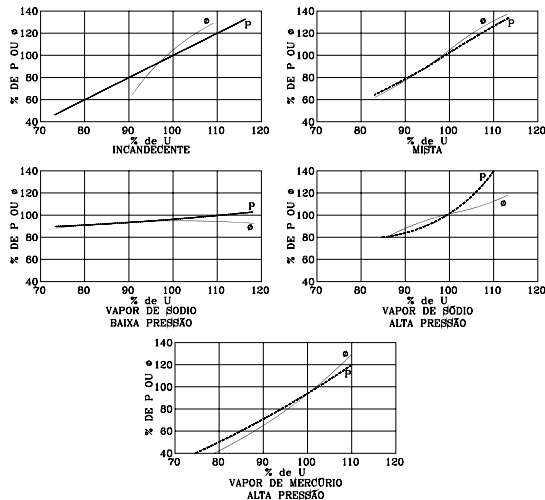


Fig. 1

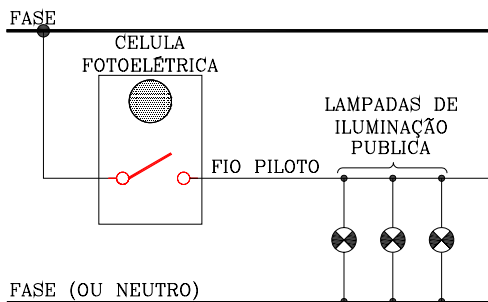


Fig. 2 - Esquema simplificado do sistema de acionamento automático dos circuitos de iluminação pública

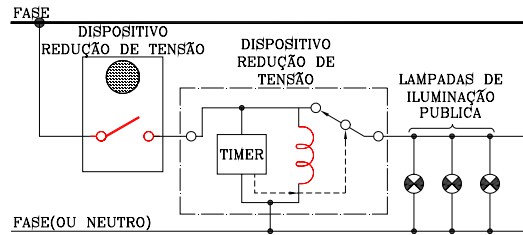


Fig. 3 - Esquema simplificado de utilização do dispositivo redutor de tensão junto ao sistema de acionamento automático dos circuitos de iluminação pública

VANTAGEM PARA O SETOR ELÉTRICO

Imagine-se um sistema eletroenergético que deve fornecer um consumo de E megawatts médios e uma ponta de P megawatts. Se, através da instalação de certos equipamentos, consegue-se reduzir o consumo em ΔE MW méd. e a ponta, em ΔP MW, o benefício econômico experimentado pelo administrador do sistema será medido pelos gastos em que deveria incorrer para atender ΔE ΔP. em termos de geração, estes gastos envolvem os custos em obras civis para alcançar uma energia firme proporcional a ΔE mais os custos em máquina, relativo a ΔP. Já no que diz respeito à transmissão e distribuição, que são dimensionadas pela ponta, os gastos correspondem apenas a ΔP.

Considerando os custos marginais prevaletentes a esta data no setor elétrico brasileiro, o benefício em termos de investimento atribuível aos equipamentos instalados pode ser estimado aproximadamente em

$$\Delta E + 1,8 \Delta P$$

milhões de dólares.

Segue-se que o maior benefício acontece, quando a redução é no período da ponta (ΔP = ΔE) e, o menor, quando é fora da ponta (ΔP = 0). Uma avaliação conservativa do montante correspondente aos benefícios decorrentes da modulação no consumo da iluminação pública, utilizando-se o modelo anterior, fica na ordem dos 300 milhões de dólares.

VANTAGENS PARA A CONCESSIONÁRIA

Considerando agora o ponto de vista da empresa concessionária, que compra energia do produtor e revende para os clientes, o benefício de instalação é medido pelo valor de substituição ΔE e ΔP em termos de faturamento. Isto é, se a diminuição ΔE e ΔP acontece para clientes de uma categoria tarifária definida por tarifas de demanda D_A e consumo C_A, e se for possível transferir este ΔE e ΔP para clientes da categoria D_B, C_B, então a concessionária (pagando o mesmo para o produtor) consegue faturar a mais no valor

$$F = (C_B - C_A) \Delta E + (D_B - D_A) \Delta P$$

a cada ano. Considerando uma vida útil de T = 20 anos da instalação e uma taxa de desconto I₁ = 10%, o valor atual do benefício pode ser estimado em

8,5 F

Conclui-se que o lucro da concessionária esta em deslocar consumo para faixas melhor remuneradas do serviço. Isto é particularmente importante no caso da iluminação pública, de tarifa fortemente subsidiada.

Vantagens para o consumidor (prefeituras)

Já do ponto de vista do consumidor, a vantagem da instalação é medida simplesmente pelo valor atual do faturamento não pago. Considerando uma luminária de 300W e um equipamento capaz de reduzir o consumo em 20% ter-se-ia uma diminuição no consumo de

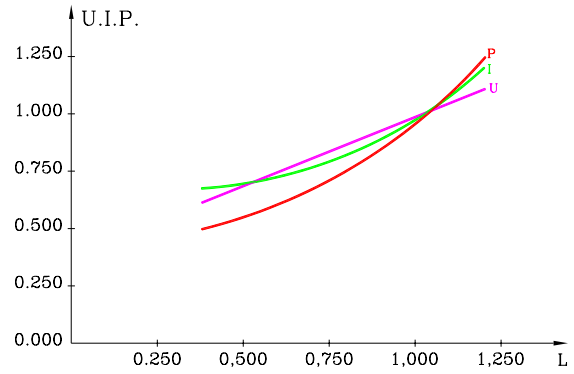


Fig. 5 - Características de tensão (U), corrente (I) e potência (P) em função da intensidade luminosa (L). P, I e U têm valor base correspondente às características nominais em 220 V

P (W)	Iluminamento %	U(V)	P (W)	Iluminamento %	U(V)
35,0	15,94	160	115,0	120,00	240
50,0	35,63	164	111,5	118,33	236
54,0	43,75	160	106,5	113,33	232
55,0	47,19	172	104,0	106,67	228
58,0	53,13	176	100,0	105,67	224
62,0	60,94	180	95,5	100,00	220
65,0	62,50	184	93,5	100,00	216
68,0	70,31	188	89,0	93,33	212
72,0	70,31	192	85,0	93,33	208
74,0	75,00	196	80,0	88,67	204
73,5	81,25	200	77,5	81,67	200
82,5	87,50	204	74,0	80,00	196
85,5	92,19	208	71,0	73,33	192
90,0	93,75	212	69,0	68,33	188
94,0	96,88	216	64,0	61,67	184
97,5	100,00	220	61,0	58,33	180
101,5	103,13	224	57,6	53,33	178
103,5	104,69	228	55,0	46,67	172
108,0	106,25	232	52,4	43,33	168
112,0	112,50	236	48,7	38,33	164
115,0	112,50	240	46,5	33,33	160

Tabela 2 - Variação de potência, corrente e intensidade luminosa (%) em função da variação da tensão de regime permanente nos sentidos crescente (à esq.) e crescente (à dir.)

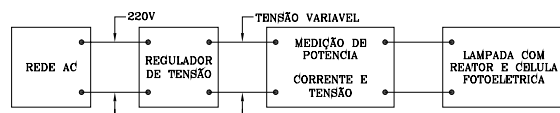


Fig. 4 - Diagrama de blocos utilizado para testar as lâmpadas

$$f_c \cdot 60 \text{ W (20\% de 300)}$$

onde f_c é o fator de carga. Para $f_c = 0,5$, o valor atual poupado em 20 anos ($I = 10\%$) e 0,003 dólar por kWh será:

$$8,54 \cdot 0,03 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 0,03 \text{ dol/kWh} = 67 \text{ dólares/lum.}$$

Segue que o benefício por luminária será de:

$$67 - K$$

onde K é o custo de equipamentos por luminária.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Testou-se uma lâmpada de 80 W com reator para 220/240 V e relé fotoelétrico.

Os resultados encontrados através do sistema da Fig. 3 estão na tabela 2.

Embora as lâmpadas apresentem o seu melhor rendimento na tensão nominal, a redução da tensão de 15% provoca uma redução no índice de iluminamento em 30%, tendo-se uma redução acentuada na potência consumida. (Variando desde 97 W até 68 W, portanto 30%).

O sistema de redução de tensão pode ser comando no local, por sensores temporizados ou através de um sinal em alta frequência, via subestação da cidade, que, via de regra, sempre possui operadores. A seguir, é apresentado o resultado obtido em laboratório de um teste realizado, para uma lâmpada de 80 W, do tipo de mercúrio.

Como pode ser observado na tabela 2 e na Fig. 5, quando se reduz a tensão aplicada no conjunto (lâmpada 80 W e reator), o índice de iluminamento cai, juntamente com a potência consumida. A preocupação com a queda no índice de iluminamento pode ser evitada ao se observar a tabela 1, pela qual são permitida reduções até 80% entre os índices de iluminamento previstos para uma via com tráfego intenso de veículos e pedestre (17 lux), para a mesma via, num horário, cujo tráfego de veículos e pedestre seja leve (2 lux).

Assim, a atenção maior se volta para a economia de energia, observando um índice de iluminamento adequado ao horário de uso.

Em termos do interesse das concessionária de energia elétrica, destacam-se a redução de ponta e a

redução do consumo de energia em períodos secos nas regiões Sul/Sudeste principalmente; entretanto em regiões, cuja geração de energia é de origem predominante térmica, o interesse passa a ser durante todo o ano, independente do período ser seco ou não.