

ANÁLISE DE PROJETOS DE EFICIENTIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

R.C. Costa, F.M.P. Pamplona, M.J.G. Silva

Coordenadoria do Curso de Eletrotécnica – Grupo de Pesquisa de Eletrotécnica – CEFET-AL
Av. Barão de Atalaia, S/N Centro CEP 57.051-810 Maceió-AL
E-mail: r.de.costa@uol.com.br, magno.jose@uol.com.br, franklin@cefet-al.br

B.A. Souza

Departamento de Engenharia Elétrica – UFCG
Av. Aprígio Veloso, 882 Bodocongó CEP 58.109-970 Campina Grande-PB
E-mail: benemar@dee.ufcg.edu.br

RESUMO

A iluminação pública é responsável por cerca de 3,5% da energia elétrica total consumida no Brasil. Uma das principais características desse uso final é que seu período de consumo abrange todo o horário de demanda máxima do sistema elétrico. Neste trabalho, os princípios da iluminação pública e da análise econômica de projetos de engenharia são estudados com direcionamento para um procedimento de análise assistida por computador. A configuração atual do sistema é analisada previamente para servir de referência. A partir desse caso base são criadas, por simulação digital, configurações alternativas, escolhendo-se aquela que se apresenta como a mais econômica. No procedimento são incluídos todos os custos, tais como, de equipamentos, de mão-de-obra e financeiros. O estudo realizado, embora desenvolvido de modo generalizado, foi aplicado ao alimentador 007 da subestação Pinheiro, da Companhia Energética de Alagoas – CEAL (Maceió).

PALAVRAS-CHAVE: Iluminação pública; Eficiência energética; Análise de sistemas elétricos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui atualmente cerca de 12 milhões de pontos de iluminação pública, perfazendo uma potência instalada de cerca de 2,2 GW (PROCEL, 1998). O consumo neste setor corresponde a cerca de 3,5 % do consumo total de energia elétrica no país (ARAÚJO, 1998a). O período de iluminação pública é muito extenso (aproximadamente 12 horas) e parte coincide com todo o horário da demanda máxima do sistema elétrico. A preocupação maior consiste no fato de que está incluído, nesse percentual, um considerável grau de desperdício energético por se utilizarem lâmpadas e equipamentos pouco eficientes e também pela existência de problemas gerenciais na administração dos sistemas de iluminação pública, retardando, deste modo, a implementação de ações para melhorar sua eficiência.

Dentro deste contexto, a análise dos sistemas de iluminação pública, no sentido de avaliar sua situação atual, e a busca de alternativas que visem torná-los mais eficientes são de importância fundamental. Devido à simplicidade operacional da maioria dos sistemas de iluminação, e aos baixos investimentos necessários para a efficientização, esse procedimento apresenta resultados imediatos e de rápido retorno de investimento sendo indutor de outras ações por parte dos consumidores (PROCEL, 1998).

Assim, é de grande importância a realização de estudos que envolvam a análise de sistemas de iluminação pública existentes atualmente, como também, a procura de alternativas viáveis do ponto de vista técnico-econômico que possam subsidiar a elaboração de projetos que visem melhorar a eficiência dos sistemas de iluminação pública.

2. ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Iluminação pública é segurança, é conforto, é a extensão do tempo útil de uma cidade (PROCEL/ELETROBRÁS, 1998). Considerando-se que nos tempos atuais, as atividades noturnas são quase tão intensas quanto às diurnas, faz-se necessário criar uma visão rápida, precisa e confortável das vias públicas. Para tanto, a iluminação artificial das vias de trânsito motorizado, vias de pedestres, áreas residenciais, lugares públicos, distritos industriais e outros locais do gênero, deve satisfazer requisitos indispensáveis, como segurança contra crimes e acidentes, além de facilidade de movimentação, conforto visual, e desempenho visual satisfatório.

Um projeto de iluminação pública, assim como qualquer outro projeto de engenharia, é um problema que compreende dois subproblemas. O primeiro consiste em criar um elenco de alternativas de eficácia técnica comprovada. O segundo requer o exercício de engenharia econômica de escolher entre as alternativas viáveis, aquela que é mais adequada. Qualquer projeto carece de viabilidade econômica. Isto é, em todas as situações práticas, o problema básico está centrado na escolha da alternativa de solução mais econômica entre todas as que se apresentam.

Alternativas economicamente viáveis são aquelas possíveis de serem realizáveis. Nem todas são assim, uma vez que geralmente os recursos são limitados. Uma proposta de investimento muito rentável, mas que demande uma quantidade de recursos além da que está disponível, simplesmente terá que ser abandonada. Portanto, a análise econômica de projetos não se restringe a determinar aquele que é mais rentável.

De fato, a análise econômica de projetos é uma análise muito mais abrangente, em que além da rentabilidade, outros fatores, tais como disponibilidade de recursos e capacidade de arcar com encargos financeiros, precisam ser considerados paralelamente. Alguns desses fatores não podem se quer serem expressos com precisão em valores monetários. Isto é, não há critérios objetivos que possam ser usados para definir seus valores monetários. São os chamados fatores imponderáveis (HESS et al, 1969), ou simplesmente fatores subjetivos, pois eles deverão ser considerados na tomada de decisão e muitas vezes são mais determinantes que qualquer outro. Exemplos desses fatores são os custos ou benefícios sociais em geral. Ou seja, as implicações do projeto sobre a saúde e segurança públicas e a qualidade de vida como um todo. A repercussão urbanística e o impacto ambiental do projeto são outros fatores imponderáveis de grande importância.

2.1 Engenharia Econômica, Capital e Juros

Engenharia econômica é o conjunto de princípios e técnicas que podem ser empregados para orientar a tomada de decisão sobre investimentos. Essa área da ciência das finanças se preocupa com o uso eficiente de fundos. Um dos fundamentos da engenharia econômica é o de que o capital é um bem escasso cujo valor real é função do tempo. Isso significa que o capital aplicado num empreendimento deve ser remunerado independente de qual seja sua origem: capital próprio, empréstimo de curto prazo ou financiamento de longo prazo. A remuneração do capital ou juros é decorrente de vários fatores, entre os quais:

- Inflação: a diminuição do poder aquisitivo da moeda exige que o retorno seja maior que o investimento, seja maior em valor nominal, para que o capital mantenha seu valor real.
- Utilidade: investir significa postergar consumo, o que só é atraente se houver uma compensação.
- Risco: há sempre a possibilidade do investimento não corresponder às expectativas.
- Oportunidade: os recursos disponíveis para investir são limitados; ao se aceitar determinado projeto perde-se a oportunidade de ganhos em outros, razão pela qual o primeiro deve oferecer retorno satisfatório.

Uma taxa única que englobe todos esses fatores é possível, embora também se possa empregar uma taxa para cada um dos fatores individualmente. A parte da remuneração do capital para compensação da inflação é denominada de correção monetária (não é juros). O fator inflação pode ser excluído expressando-se os valores numa moeda forte ou numa base de referência monetária. Há sempre algum risco nisso, o qual pode ser agregado aos riscos gerais do investimento. O fator utilidade só faz sentido para pequenos investidores. Denomina-se de juros reais a parte da remuneração do capital para efeito de compensação pela perda de oportunidade.

O capital inicialmente aplicado, denominado principal, pode crescer devido aos juros segundo duas modalidades:

- Juros simples: só o principal rende juros enquanto dura o investimento.
- Juros compostos: periodicamente os juros apurados são incorporados ao principal, e assim passam a render juros.

O período considerado para incorporação dos juros ao capital é denominado de período de capitalização ou período de composição. Diz-se que os juros são capitalizados mensalmente, semestralmente ou anualmente. Em projetos de engenharia, o período de capitalização anual é o usual.

A metodologia de análise de investimentos baseia-se em juros compostos para estabelecer padrões de comparação. O uso de juros simples não se justificava em estudos econômicos, já que as quantias geradas pelo fluxo de fundos costumam ser reinvestidas. De qualquer modo, o caso em que eventualmente não haja reinvestimentos, podem ser tratados como com reinvestimento a taxa nula e analisados pelos mesmos princípios.

2.2. Métodos de Análise Econômica

Ao ser atraído por um novo investimento, o capital deixará de auferir retorno da aplicação que tinha até então. Se isso ocorreu é porque a proposta se mostrou mais vantajosa (mais rentável e/ou menos arriscada). Para que a nova alternativa seja atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco que se encontram no mercado. Esta é a taxa de juros mediante a qual se estabelece a equivalência entre as alternativas de investimento, segundo o princípio da indiferença. Ela é chamada taxa mínima de atratividade. Na verdade, a taxa de atratividade normalmente é maior que a do investimento atual, pois além da taxa de juros real incluem taxa de risco e eventuais custos de movimentação.

Um estudo econômico sempre compreende a análise de alternativas de investimento para subsidiar a tomada de decisão entre não fazer nada, alterar ou abandonar projetos em andamento, ou investir em novos projetos. Os métodos de comparação de alternativas de investimentos, em primeira instância, consistem em expressá-las através de quantias únicas determinadas com base no princípio da indiferença.

No **Método do Valor Atual**, denomina-se como *valor atual de um movimento simples* S , a quantia P , a ser investida a juros i , para que se tenha após n períodos de capitalização o montante S . Pelo método do valor atual, todos os custos que ocorram durante a vida de cada projeto são convertidos em seus valores atuais, tomando-se a taxa mínima de atratividade. O projeto mais econômico é aquele que totalizar o menor custo atual.

No **Método do Custo Anual** a comparação de alternativas de investimentos é realizada reduzindo-se os fluxos de caixa de cada proposta a uma série uniforme equivalente, empregando-se para isso a taxa mínima de atratividade. Seleciona-se a alternativa que tiver menor custo (ou maior rendimento) anual. Para determinar o custo anual de um investimento, primeiro deve-se determinar o valor atual do investimento como um todo.

Alguns tipos de investimentos se propõem a fornecer benefícios por períodos tão grandes que são considerados eternos. É o que ocorre com obras públicas tais como: estradas, redes de esgoto, viadutos, etc. Nestes casos aplica-se o **Método do Custo Capitalizado**, onde se considera $n = \infty$ ao se aplicar o fator de valor atual de série uniforme.

A *taxa de retorno* de um investimento é a taxa de juros que anula mutuamente as entradas e saídas de recursos no investimento durante sua vida. O **Método da taxa de retorno** consiste em calcular a taxa de retorno do investimento, a qual deve ser maior que a taxa mínima de atratividade para que o investimento seja atraente. Portanto, um investimento

não basta ser rentável (com taxa de retorno positiva), mas precisa sim, ter uma rentabilidade acima da média de mercado. Esse é o critério para se decidir por um investimento sem necessidade de comparação de alternativas, como exigem os métodos anteriores. Quando várias alternativas de investimentos se apresentam, escolhe-se a mais rentável, se alguma é atraente. Do contrário, não se escolhe nenhuma.

Os estudos desenvolvidos nesse trabalho foram realizados com auxílio da planilha eletrônica Excel® 7.0 (MICROSOFT, 1995) que conta com diversas funções financeiras. Algumas das quais têm relação direta com os métodos de análise apresentados acima.

2.3. Renovação de Instalações Como Uma Alternativa Econômica

A substituição de equipamentos e a renovação ou modernização de sistemas de modo geral, constituem um dos campos em que a engenharia econômica tem sido aplicada com maior sucesso. O problema central deste trabalho é justamente desse tipo. Especificamente o que se cogita é a substituição de lâmpadas, luminárias e reatores por outros de maior qualidade tecnológica, para que o sistema de iluminação pública seja mais eficiente economicamente.

Em síntese, o problema consiste em determinar se a redução de custos decorrente da substituição compensa o investimento que se faz necessário. O que se procura é comparar os fluxos de caixa com e sem a substituição proposta, a fim de escolher a melhor solução. O problema não é simples por várias razões, mas a parte mais difícil é o levantamento de custos, pois eles dependem de vários fatores, inclusive da maneira como a renovação das instalações é feita.

Há dois tipos de substituição de equipamento, que implicam custos diferentes: substituição de unidades que se destroem e unidades que se desgastam ou se desatualizam. A vida de um equipamento obedece a uma lei probabilística, de maneira que é impossível determinar o instante exato em que irá falhar. Em via de regra, o custo de uma falha não corresponde apenas ao da substituição do equipamento, mas também ao prejuízo eventual decorrente da falha. Dependendo de qual seja o valor desse último, pode ser mais econômico substituir o equipamento quando ele alcançar um determinado índice de desgaste, ou seja, antes dele falhar.

Os estudos que ora se apresentam, não foram de natureza probabilística. Consideram-se três alternativas econômicas:

- **Caso base:** manter o sistema como está, sem nenhuma renovação. Neste caso, os equipamentos são substituídos por outros similares ao falharem. O custo médio dessas substituições é estimado e incorporado ao custo anual de manutenção. Não há investimento inicial.
- **Renovação imediata:** O sistema é renovado, por inteiro, de uma só vez. O custo de substituição é o investimento inicial da alternativa. A redução no custo de manutenção, decorrente da renovação e o aumento da vida útil dos equipamentos são estimados.
- **Renovação por etapa:** Esta é uma alternativa intermediária entre as duas anteriores, em que a renovação ocorre em etapas.

3. ESTUDO DE CASO

Iluminação pública traduz segurança, conforto e melhor qualidade de vida para os habitantes de uma cidade. Embora seja absolutamente imprescindível nos dias de hoje, a iluminação pública deve reunir as seguintes características: qualidade (deve iluminar as vias de forma uniforme em níveis satisfatórios), eficiência (não deve desperdiçar energia) e, sobretudo, viabilidade econômica.

Assim, para solucionar os problemas energéticos e econômicos que advém a necessidade de escolher qual o sistema de iluminação pública mais conveniente a ser empregado, faz-se necessário dispor de ferramentas que auxiliem nessa tomada de decisão.

Este trabalho consiste na elaboração de um procedimento computadorizado de análise de sistemas de iluminação pública. Ele se desenvolve utilizando como ferramenta principal a planilha eletrônica Excel®. É um estudo de simulação digital compreendido em três etapas.

Inicialmente, as características do sistema na sua configuração atual são levantadas e todos os custos associados são quantificados em valores monetários. Esta etapa inicial é denominada de caso base, justamente porque é a partir dele que são criados os cenários do sistema. A criação dos cenários é a segunda etapa do estudo. Na terceira e última etapa, as alternativas são comparadas sob o ponto de vista econômico.

Os cenários devem ser alternativas tecnicamente equivalentes ao caso base. Isto é, são configurações alternativas com mesmo desempenho técnico, ou até melhor. Nunca pior. Portanto, o nível médio de iluminância em todos os casos deve ser aproximadamente o mesmo. Para se estabelecer a equivalência entre as lâmpadas se devem comparar suas características, as quais se apresentam na Tabela I, em conformidade com DIBRÁS (1992).

Tabela I. Características de lâmpadas e de reatores.

lâmpada	vida útil (10 ³ hora)	potência (W)		fluxo luminoso (10 ³ Lm)	rendimento (Lm/W)
		nominal	efetiva ¹		
mista	8	250	250,0	5,5	22,0
	15	400	439,5	22,0	50,1
vapor de mercúrio	15	250	277,7	12,5	45,0
	15	125	140,5	6,0	42,7
	12	80	90,9	3,5	38,5
vapor de sódio	24	250	277,0	26,0	93,9
	24	150	176,0	14,5	82,4
	24	70	85,0	6,0	70,6
	24	50	62,0	3,4	54,9

¹ equivalente à potência nominal mais as perdas no reator.

A Tabela II, criada a partir da Tabela I, define como as lâmpadas devem ser substituídas para que o sistema de iluminação seja renovado do modo mais econômico possível, sem que haja diminuição do fluxo luminoso. No caso da substituição da lâmpada de vapor de mercúrio de 80W pela de vapor de sódio de 70W há um aumento exagerado de 41,3% no fluxo luminoso. Entretanto a única alternativa disponível seria empregar a lâmpada de vapor de sódio de 50W na substituição, o que contrariaria o critério de não reduzir o fluxo luminoso, mesmo num percentual muito reduzido (2,9% no caso).

Tabela II. Diretriz para substituição de lâmpadas.

lâmpada original		lâmpada substituta		aumento de fluxo luminoso
tipo	potência (W)	potência (W)	tipo	
mista	250	70		8,3%
	80	70		41,3%
vapor de mercúrio	125	70	vapor de sódio	0,0%
	250	150		13,8%
	400	250		15,4%

Aqui cabe um esclarecimento quanto as formas de substituição de um equipamento do sistema. A reposição é a mera substituição de um equipamento por outro novo e idêntico. A renovação é a substituição do equipamento por outro de maior eficiência. Usualmente é comum, reporem-se equipamentos danificados, enquanto que a renovação se faz de equipamento danificados ou não. A reposição de equipamentos não danificados, pode ocorrer em casos especiais, durante a manutenção preventiva do sistema, quando o custo da interrupção de serviço é muito alto, sendo indicado evitar o risco de sua ocorrência. Portanto, manutenção do sistema é uma operação de reposição de equipamentos, enquanto a renovação do sistema é diferente, pois implica renovação de equipamento.

3.1. Estudo de Aplicação

A metodologia descrita foi aplicada ao estudo do alimentador 007 da subestação do Pinheiro da CEAL, cujo diagrama esquemático de barras é mostrado na Figura 1. Para o estudo da viabilidade técnico-econômica de alternativas do sistema de iluminação pública da cidade Maceió se tomou esse alimentador como protótipo. Para tanto se levantou a

configuração do alimentador através de seu diagrama unifilar e de outros dados técnicos, administrativos, financeiros e comerciais fornecidos pela CEAL e pela SIMA (Superintendência Municipal de Energia e Iluminação de Maceió). Todas essas informações foram organizadas numa planilha eletrônica da forma explicada adiante.

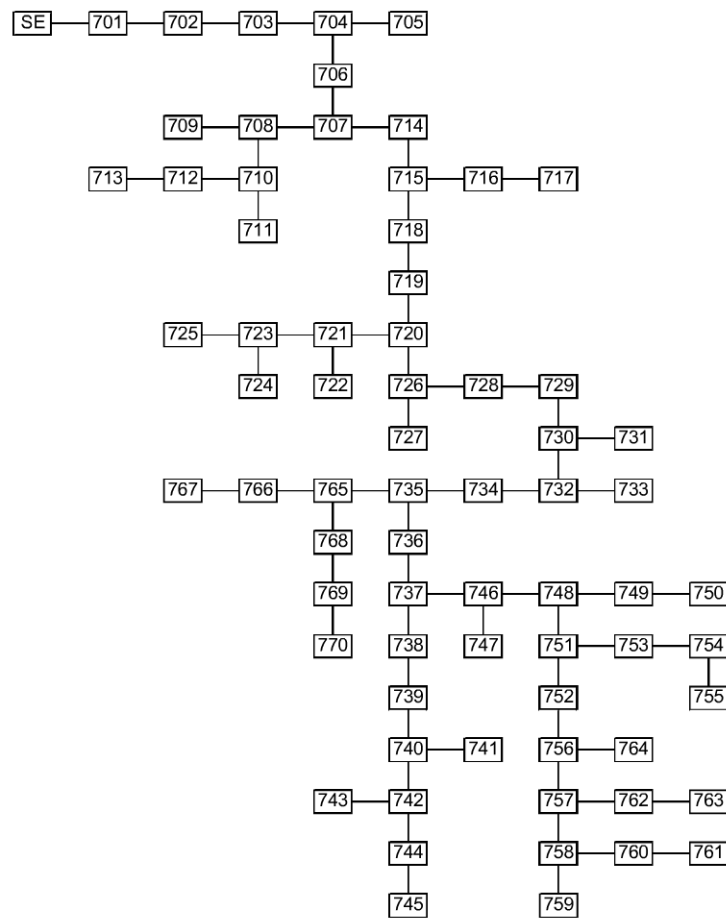


Figura 1. Diagrama esquemático de barra do alimentador PNO007.

Nesta aplicação dois cenários foram criados. No primeiro, 50% da configuração atual será renovada de imediato e os 50% restantes após dois anos. No segundo cenário, a renovação é total e imediata, isto é 100% da configuração é renovada no ano zero.

3.2 Construção da Base de Dados

A base de dados consta de quatro planilhas eletrônicas, num único arquivo, denominadas de curva de carga, configuração atual, custo de manutenção e perdas.

Na planilha curva de carga processa-se a curva de carga do alimentador levantada na subestação. Isto é, a curva de carga é segmentada, determinam-se as demandas máxima e média, e calculam-se as o fator de demanda e o fator de carga do alimentador. Também se cria a curva de carga com a demanda da iluminação pública excluída. Essa segunda curva de carga será útil na determinação do custo marginal das perdas associadas à iluminação pública.

A planilha configuração atual contém dados gerais do alimentador, de lâmpadas e reatores e também dados específicos de cada trecho. Os primeiros são:

- tensão nominal,
- fator de potência médio,

- fator de demanda,
- fator de carga.

As potências nominais dos vários tipos de lâmpada empregados, ou que se cogita empregar, e as perdas dos reatores respectivos formam o segundo conjunto de dados. Finalmente, o terceiro conjunto compreende registros, em número igual ao de trechos do alimentador.

Em pesquisa realizada na concessionária, se constatou que o banco de dados do sistema de iluminação era incompleto. Para completá-lo se utilizou a quantidade média de lâmpadas por transformador. Esta média foi calculada somando-se o número de postes das redes secundárias suprida pelos transformadores de cada classe de potência e dividindo-se esse valor pela quantidade de transformadores da mesma classe.

3.3. A Curva de Carga do Alimentador

A curva de carga do alimentador, corrente versus tempo, que é medida na subestação, foi segmentada em três horários (Figura 2). Como a tensão no início do alimentador se mantém aproximadamente constante e igual à tensão nominal de 13,8 kV é possível converter a curva de carga original para potência versus tempo (escala da direita do gráfico da Figura 2).

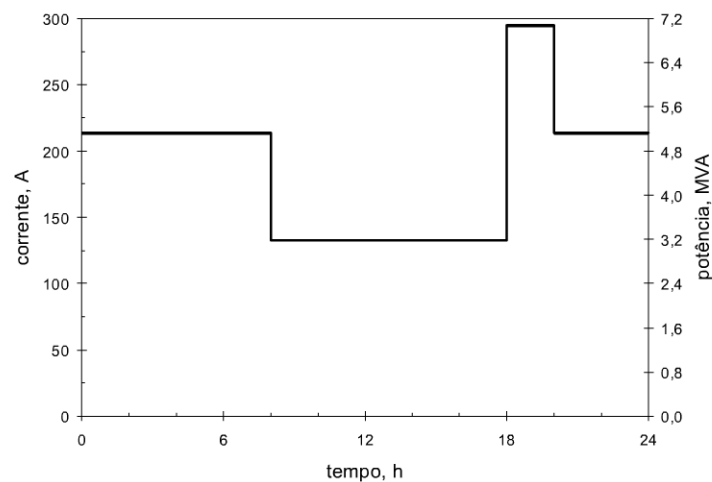


Figura 2. Curva de carga segmentada do alimentador.

Outros dados gerais do alimentador são reunidos na Tabela III, alguns dos quais extraídos da própria curva de carga.

Tabela III. Dados gerais do alimentador PNO007.

dado	valor
Tensão nominal, kV	13,8
Espaçamento equilateral equivalente, m	1,41
Fator de potência	0,91
Carga instalada, MVA	15,76
Demanda máxima, MVA	7,05
Fator de demanda, %	44,7
Fator de carga, %	63,3

Para avaliar a repercussão da iluminação sobre as perdas do sistema se comparam as perdas, tanto de potência quanto de energia, nas seguintes situações: (i) Com o sistema completo, isto é, considerando-se todas as cargas, inclusive a de

iluminação pública. (ii) Descontando-se a carga de iluminação, o que resulta na curva de carga da Figura 4. A diferença entre as perdas calculadas numa situação e noutra é o que se denomina responsabilidade (do sistema de iluminação) sobre as perdas totais no alimentador. Ao expressar esta diferença em valores monetários se tem o custo marginal da iluminação pública relativo a perdas.

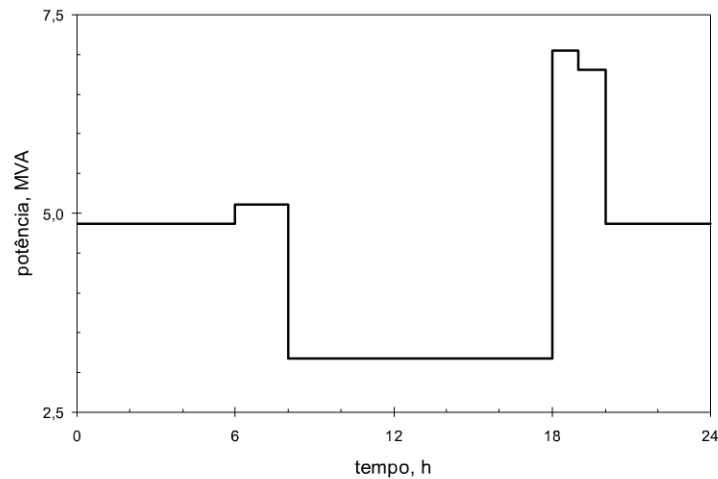


Figura 4. Curva de carga do alimentador PNO007, com desconto da carga de iluminação pública.

3.4. Cálculo das perdas

O cálculo das perdas de potência do alimentador é feito de uma só vez, considerando as demandas máximas individuais, que ocorrem depois das 17 horas até as 19 horas, horário em que se estimou o pico de carga do alimentador na ordem de 7 MVA, independentemente da participação da carga de iluminação pública. A responsabilidade da iluminação pública nas perdas de potência foi calculada em 2,65 kW.

Para calcular a responsabilidade da iluminação pública nas perdas de energia é necessário calcular as perdas de potência nos horários do dia em que a carga é diferente. As perdas de energia é simplesmente o somatório dos produtos das perdas pelas respectivas horas de duração de cada intervalo. Conforme a Figura 4 são cinco os intervalos a se considerar. Os valores das cargas nos vários intervalos, em percentagem do pico de carga (7,05 MVA) são apresentados na Tabela IV.

Tabela IV. Níveis de carga do alimentador PNO007.

intervalo	duração	carga completa	descontada a carga de iluminação
6 – 8	2 h	72%	72%
8 – 18	10 h	45%	45%
18 – 19	1 h	100% *	100%
19 – 20	1 h	100%	97%
20 – 6	10 h	72%	69%

* 100% = 7,05 MVA

A responsabilidade da iluminação pública nas perdas de energia no alimentador primário foram calculadas em 25,8 MWh/ano. Esse resultado pode ser estendido para o resto do sistema, estimando-se as perdas na rede secundária mais transformadores de distribuição, de acordo com indicadores universais, como de um para um. Ou seja, a responsabilidade da iluminação pública nas perdas de energia do sistema de distribuição é da ordem de 51,6 MWh/ano.

3.5. Levantamento de Custos

Os principais custos relacionados com o sistema de iluminação pública são esquematizados na Figura 5. Existem vários outros, tais como encargos sociais, impostos, treinamento de mão de obra, os quais podem, de algum modo, serem incorporados aos custos principais. Por exemplo, o custo de transporte de equipamento, pode ser agregado ao custo do equipamento; encargos sociais a custo de mão de obra e assim por diante. Com respeito ao caso estudado em particular, os custos considerados são esquematizados na Tabela V.

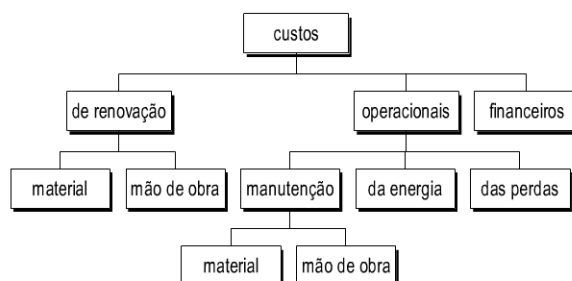


Figura 5. Custos relacionados com a iluminação pública.

3.5.1 Custos das perdas: Para converterem-se as perdas de energia em valores monetários se emprega diretamente a tarifa de energia para iluminação (tarifa B4a) cujo valor estimou-se em R\$ 66,77/MWh. Deste modo, se conclui que o custo das perdas de energia é de R\$ $3,45 \cdot 10^3$ /ano. A tarifa B4a, pode ser empregada indiretamente para expressar as perdas de potência em unidades monetárias. Considerando-se que o sistema de iluminação pública opera 12 horas/dia ou 4,38.103 horas/ano, as perdas de potência de 2,65 kW correspondem a 11,6 MWh, ou seja, custam R\$ $0,77 \cdot 10^3$ /ano. Os custos das perdas associadas às configurações alternativas que definem os cenários foram calculados seguindo o mesmo procedimento descrito antes e são apresentados na Tabela V.

Tabela V. Comparativo das alternativas de iluminação pública via o alimentador PNO0007.

configuração	renovação	perdas		custo (R\$ 10^3 /ano)		
		potência (kW)	energia (MWh/ano)	potência	energia	total
Base	—	2,65	51,7	0,77	3,45	4,23
alternativa 1	50%	2,33	49,5	0,68	3,30	3,99
alternativa 2	100%	2,02	47,2	0,59	3,16	3,75

3.5.2 Custos da manutenção: Os custos de manutenção subdividem-se em custo de material e custo de mão de obra. Os primeiros serão levantados aqui tomando-se a média dos preços praticados no comércio de Maceió. Os custos de mão de obra serão calculados de acordo com a experiência da SIMA.

3.5.3 Custo da renovação: Como acontece com a manutenção, na rubrica de renovação há dois custos: material e mão de obra. Entretanto, além de serem conceitualmente diferentes, as implicações financeiras da manutenção e da renovação são diferentes. A primeira é feita de forma aleatória, ou aproximadamente contínua, daí se tê-la processado através de uma taxa de reposição anual. A renovação, por outro lado, é feita em instante de tempo bem definido. Neste trabalho se considera que ela seja feita de uma só vez, ou alternativamente em duas vezes.

3.5.4 Custo da energia: O custo da energia é o mais expressivo e ao mesmo tempo o que é calculado com maior facilidade. Definiu-se como potência efetiva da lâmpada sua potência nominal acrescida das perdas de potência no reator correspondente.

Conhecendo-se potência efetiva e a quantidade de lâmpadas de cada tipo, se tem a potência instalada do sistema de iluminação. Como o fator de demanda é de 100%, a energia consumida pelo sistema de iluminação é igual a sua potência instalada vezes seu tempo de operação. O custo da energia se obtém, aplicando-se a tarifa B4a.

Para manter-se a compatibilidade com os outros custos, se considerou o tempo de operação do sistema de iluminação em um ano, que é de aproximadamente $4,38 \cdot 10^3$ horas, embora a conta de energia seja mensal. Isto será compensado posteriormente.

Há evidentemente alguma imprecisão no método de cálculo da energia consumida como foi feito aqui. Isto é, com base na potência efetiva das lâmpadas. Ao se fazer assim está se aceitando a hipótese de que o modelo da carga de iluminação seja completamente a potência constante. Como a energia é o item mais significativo na planilha de custo, seria interessante, pesquisar a influência do perfil de tensão do alimentador sobre a energia consumida pelo sistema de iluminação.

3.5.5 Custos financeiros: Os custos financeiros, ao contrário dos demais, não serão quantificados especificamente, mas serão considerados, a uma taxa de juros de 12% ao ano. A inflação é estimada em 10% ao ano, que corresponde a 0,799% ao mês. Isso equivale a utilizar uma taxa efetiva de 23,83% ao ano, ou de 1,797% ao mês. O procedimento de cálculo dos custos anuais efetivos será explicado a seguir.

Seja C_n um custo anual nominal, então o custo mensal correspondente é $C_n/12$. O custo anual efetivo, C_e , é o valor futuro da série uniforme de 12 pagamentos de valor $C_n/12$. Isto é,

$$C_e = \frac{C_n}{12} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]. \quad (1)$$

A parte da eq. 1 entre colchetes é o *fator de acumulação de capital através de uma série uniforme* (HESS et al, 1986).

No caso da correção monetária ser mensal como o período de capitalização, ela pode ser embutida na taxa de juros, ou seja, neste caso $i = 1,797\%$ e a razão entre os valores nominais e efetivos, de acordo com a eq. (1), é

$$\frac{C_e}{C_n} = 1,105 \quad (2)$$

Empregando-se esse fator corrigem-se os valores totais dos custos operacionais que constam da Tabela VI, resultando na Tabela VII.

Tabela VI. Consolidação dos custos nominais.

configuração	renovação	custos operacionais (R\$ 10 ³ /ano)				custos de renovação (R\$ 10 ³)
		perdas	energia	manutenção	total	
base	—	4,23	65,56	15,07	84,86	—
alternativa 1	50%	3,99	57,87	12,75	74,61	20,88
alternativa 2	100%	3,75	50,18	5,17	59,10	41,77

Tabela VII. Consolidação dos custos nominais.

configuração	renovação	custos operacionais (R\$ 10 ³ /ano)	custos de renovação (R\$ 10 ³)
base	—	93,77	—
alternativa 1	50%	82,44	20,88
alternativa 2	100%	65,31	41,77

3.6. Análise Econômica dos Resultados

Agora que os custos totais das três alternativas estão completamente levantados se pode compará-las. Será empregado o método do valor atual. O fluxo de caixa ao fim de cada ano, durante um período de análise de quatro anos é esquematizado na Tabela VIII. Os valores da coluna a direita foram calculados usando a função VPL do Excel®. Note-se que os valores que figuram não são corrigidos explicitamente. A correção monetária é feita compondo-se o índice de inflação com a taxa de juros.

Tabela VIII. Análise econômica das alternativas.

	Alternativa	Fluxo de caixa (R\$ 10 ³)					valor atual (R\$ 10 ³)
		inicial	ano 1	ano 2	ano 3	ano 4	
0	Manter a configuração atual.	—	93,77	93,77	93,77	93,77	226,14
1	Renovar metade da configuração atual de imediato e o restante depois de dois anos.	20,88	82,44	103,32	82,44	82,44	233,31
2	Renovar a configuração atual por completo e de imediato.	41,7	65,31	65,31	65,31	65,31	199,21

Os resultados da análise econômica indicam a alternativa 2 como a mais indicada. Durante as simulações digitais observou-se que o capital investido na renovação completa e imediata do sistema de iluminação retorna em apenas dois anos. De longe, está é a melhor alternativa.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, os princípios da iluminação pública e da análise econômica de projetos de engenharia foram estudados, culminando num procedimento de análise assistida por computador.

O estudo realizado, embora desenvolvido de modo generalizado, foi aplicado ao alimentador 007 da subestação da Companhia Energética de Alagoas – CEAL, no Pinheiro (Maceió). Para tanto, a configuração atual do sistema foi analisada previamente servindo de referência. E, a partir desse caso base foram criadas, por simulação digital, duas configurações alternativas através da substituição das lâmpadas mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas a vapor de sódio, onde foram incluídos todos os custos, tais como, de equipamentos, de mão-de-obra e financeiros.

Comparando-se, entre as alternativas, as despesas com investimento e as despesas operacionais, concluiu-se que a alternativa mais viável a ser empregada para a eficiência energética do sistema de iluminação pública, não só pela energia conservada, mas pela redução de custos, é conseguida através da renovação total e imediata do sistema, cujo capital investido retorna em apenas dois anos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Ione M. T. de. **Panorama do Setor de Iluminação Pública no Brasil: Potencial de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica e Atuação do PROCEL**. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

ARAÚJO, Ricardo A. C. O. **Novo Sistema de Iluminação Pública de Salvador**. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

DIBRÁS, **Catálogo da DIBRÁS**, GE Iluminação, São Paulo, 1992.

HESS, Geraldo, MARQUES, José L. de M., PAES, Luiz C. M. da R., PUCCINI, Abelardo de L. **Engenharia Econômica**. 19.ed. São Paulo: DIFEL, 1986.

PROCEL, <http://www.eletrobras.gov.br/procel/elet.htm>, ELETROBRÁS/PROCEL, 1998.

PROCEL/ELETROBRÁS (Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica/ Centrais Elétricas Brasileiras)
Iluminação Pública. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.