

XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

NOVO CRITÉRIO DE PROJETO: AUMENTO DO VÃO DE REDE URBANA

LUIZ AUGUSTO DA COSTA
SÉRGIO LUCAS DE MENESES BLASO
MARLOS MARTINS
JOÃO GABRIEL PEREIRA DE ALMEIDA

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG

Palavras-chave: projeto, distribuição, vão e iluminação

Foz do Iguaçu, 19 a 23 de novembro de 2000

1. INTRODUÇÃO

Há algum tempo atrás, a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG utilizava a luminária aberta com lâmpada vapor de mercúrio (VM) 125 W para iluminação de vias secundárias de bairros. A partir de 1997, a empresa passou a utilizar luminária fechada com alojamento para reator e lâmpada vapor de sódio (VS) 70 W. Com essa luminária e lâmpada consegue-se uma iluminação adequada para vias secundárias, considerando-se o vão convencional adotado para rede de distribuição aérea urbana, que é de 30 a 35m.

Atualmente, a CEMIG utiliza como padrão único as redes urbanas compacta de média tensão (MT) com espaçador e isolada de baixa tensão (BT).

Com o desenvolvimento de luminárias com tecnologia mais moderna, utilização de lâmpadas VS e elevação da altura de montagem, possibilitada pela adoção das novas modalidades de rede, torna-se possível o aumento do vão em projetos de rede urbana, mantendo-se um nível adequado de iluminância.

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento da análise de viabilidade técnico-econômica do aumento do vão de rede de distribuição urbana, visando a redução do número de estruturas do projeto e, conseqüentemente, o seu custo.

O trabalho mostra que com a utilização de vãos de até 45 m, obtém-se uma redução média de 19% no número de estruturas e 8% no custo global da rede, em relação ao projeto com vão convencional (30 a 35 m).

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da análise de viabilidade do aumento do vão de rede urbana, foram adotados os seguintes procedimentos:

- avaliação de catálogos e contatos com fabricantes de luminárias fechadas com alojamento para reator e lâmpada VS 100 W;
- simulação da iluminação pública usando programas de computador de fabricantes;
- avaliação preliminar das questões de projeto de redes com vão maior;
- construção e avaliação de uma rede experimental com vãos maiores;
- projeto e construção de redes piloto;
- avaliação das montagens das estruturas e do nível de qualidade da iluminação pública (IP) nas redes piloto.

3. ILUMINAÇÃO PÚBLICA (IP)

Através de simulações em programa de cálculo fotométrico desenvolvidos por fabricantes, verificou-se que com a utilização da lâmpada VS 70 W não seria possível aumentar o vão de rede urbana, mantendo-se níveis de iluminância e de desuniformidade adequados.

Para iluminação pública de vias secundárias de bairro, a CEMIG adota o seguinte critério:

- iluminância média (E_{med}) ≥ 5 Lux;
- fator de desuniformidade (F_d) ≤ 20 .

Nesse trabalho foi analisado o aumento do vão de rede urbana, associado à utilização de luminária fechada com equipamento integrado e lâmpada VS 100 W.

Com a utilização das redes compacta de MT com espaçador e isolada de BT é possível elevar a altura de montagem do braço de iluminação e, conseqüentemente, da luminária, o que melhora a distribuição da iluminação no vão da via.

4. REDE EXPERIMENTAL

4.1- Características

Para avaliar o projeto com vãos maiores, em especial as questões relativas à IP, foi construída uma rede experimental em uma Regional de Distribuição da CEMIG, em Belo Horizonte, utilizando-se as seguintes condições (Foto 1):

- vãos: 35, 40, 45 e 50 m;
- pista com largura de 6 e 8 m;
- alturas de montagem do braço simulando postes de 10, 11 e 12 metros;
- luminária fechada com equipamento incorporado e refrator em policarbonato para lâmpadas VS 70 e 100 W - ovóide e luminária aberta para lâmpada VS 70 W - ovóide, como referência. Na experiência, foi utilizada a luminária modelo IVC da Indalux (Foto 2);
- braço de iluminação com projeção horizontal de 2,92 m e vertical de 2,20 m.

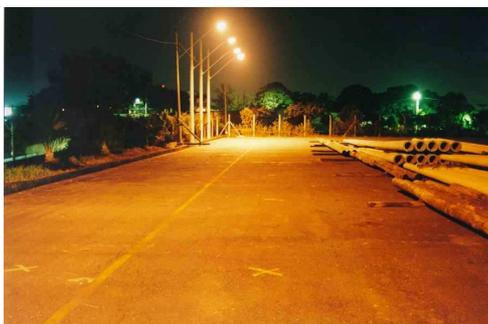


Foto 1 - Rede Experimental



Foto 2 - Luminária para Lâmpadas VS 70 e 100 W

4.2- Medições

Para cada montagem da rede experimental, função da altura da luminária e do comprimento do vão, foram feitas medições fotométricas, utilizando-se um luxímetro digital Tektronix, modelo J-17. As medições foram feitas em intervalos de 5 m no sentido longitudinal da via.

A Tabela 1 mostra os valores de E_{med} e F_d para as montagens com lâmpada VS 70 W. Os dados mostram que com a lâmpada VS 70 W, obtém-se $E_{med} \geq 5$ e $F_d \leq 20$ em um vão até 40 m; com uma altura de montagem da luminária de 8,4 m.

Tabela 1 - Características Fotométricas da IP com Lâmpada VS 70 W - Rede Experimental

Poste (m)	Altura da Luminária (m)	Largura da Via (m)	Comprimento do Vão (m)							
			35		40		45		50	
			E_{med} (Lux)	F_d						
-	6,8 ^(*)	6	8,54	13,27	7,91	18,27	6,63	32,96	5,76	45,37
		8	7,52	13,27	6,97	18,27	5,92	32,86	5,16	45,37
10	8,4	6	5,75	7,53	5,05	12,13	4,90	28,77	4,19	28,44
		8	5,76	7,53	5,11	12,13	4,91	28,77	4,20	28,44
11	9,3	6	5,87	5,25	4,80	10,90	4,54	16,75	3,88	20,24
		8	5,87	5,25	4,89	10,90	4,54	16,75	3,90	20,24
12	10,2	6	5,11	3,89	4,39	5,74	3,82	10,47	3,51	12,59
		8	5,14	3,89	4,45	5,74	3,88	10,47	3,56	12,59
Valores Referência			≥ 5	≤ 20						

Nota: ^(*) Situação atual com luminária aberta.

A Tabela 2 mostra os valores de E_{med} e F_d para as montagens com lâmpada VS 100 W. Os dados mostram que com a lâmpada VS 100 W, obtém-se níveis de iluminação adequados para vão até 45 m, com alturas de montagem de 8,4; 9,3 e 10,2 m e para vão até 50 m, com alturas de montagem de 9,3 e 10,2 m.

Tabela 2 - Características Fotométricas da IP com Lâmpada VS 100 W - Rede Experimental

Poste (m)	Altura da Luminária (m)	Largura da Via (m)	Comprimento de Vão (m)							
			35		40		45		50	
			E_{med} (Lux)	F_d						
-	6,8	6	12,80	20,29	10,99	30,70	9,41	33,63	10,73	68,20
		8	10,23	26,10	8,84	38,46	7,72	36,00	9,78	68,03
10	8,4	6	12,82	7,11	12,32	9,04	10,59	16,05	8,15	24,57
		8	11,35	7,81	10,98	10,60	9,55	19,69	7,38	27,46
11	9,3	6	11,67	4,40	10,13	6,79	9,27	12,32	7,60	17,65
		8	10,46	5,89	9,18	8,72	8,44	15,03	7,65	17,54
12	10,2	6	10,37	4,48	8,51	5,00	8,49	8,24	6,60	12,51
		8	9,71	6,96	7,82	6,24	7,78	10,55	6,04	14,63
Valores Referência			≥ 5	≤ 20						

Nota: Para simulação da montagem no poste de 12 m, foi utilizada a lâmpada VS 100 W - tubular.

4.3- Avaliação

Considerando-se aspectos relacionados à tração e flecha dos cabos das redes primária e secundária, ao comprimento dos ramais de ligação e à manutenção dos equipamentos da IP, e o propósito de buscar o aumento de vão máximo de rede urbana para reduzir o custo do projeto, verificou-se que, a princípio, deve-se trabalhar com vão máximo de 45 m. Para esse comprimento de vão e com a luminária fechada com lâmpada VS 100 W - ovóide, montada a uma altura de cerca de 9 m do solo, obtém-se níveis fotométricos satisfatórios para vias secundárias de bairros.

Deve-se ressaltar que na construção da rede compacta de MT com espaçador, a grande maioria das estruturas é montada utilizando-se o poste com comprimento de 11 m.

Na Tabela 3, pode-se comparar os valores fotométricos obtidos com vão de 35 m e lâmpada VS 70 W (condição atual) e com vão de 45 m, lâmpada VS 100 W e luminária a 9,3 m do solo. Verifica-se que, utilizando a montagem com lâmpada VS 100 W em um vão de 45 m, obteve-se melhoria de praticamente todos os índices de iluminância e desuniformidade, em relação à condição atual de projeto.

Tabela 3 - Medições na Rede Experimental - Índices Fotométricos

Condição	Largura da Via: 6 m		Largura da Via: 8 m	
	E_{med} (Lux)	F_d	E_{med} (Lux)	F_d
Vão 35m - VS 70 W	8,5	13,3	7,5	13,3
Vão 45m - VS 100 W	9,3	12,3	8,4	15,0

5. TRAÇÕES NOS CONDUTORES

As trações no cabo mensageiro da rede compacta de MT para os vãos de 35 e 45 m são mostradas na Tabela 4. Verifica-se que, com o aumento de vão, há uma pequena variação na tração de projeto dos condutores. Deve-se ressaltar que o vão médio da rede será um pouco menor que 45 m.

Tabela 4 - Trações de Projeto (daN) em Rede Protegida

Cabo Coberto (mm ²)	Vão (m)		Variação (%)
	35	45	
50	392	404	3,1
150	493	507	2,8

As trações nos condutores da rede isolada de BT para os vãos de 35 e 45 m são mostradas na Tabela 5. Apenas no caso do cabo de 35 mm², há um pequeno incremento no valor da tração de projeto, quando o vão é de 45 m. Esse cabo é utilizado em, aproximadamente, 35% das redes protegidas construídas. Na prática, o vão médio da rede será um pouco menor que 45 m.

Tabela 5 - Trações de Projeto (daN) em Rede Isolada para Baixa Tensão

Cabo Isolado de BT (mm ²)	Vão (m)		Variação (%)
	35	45	
35	147	156	6,1
70	245	245	-
120	380	380	-

6. RAMAL DE LIGAÇÃO

Atualmente, a norma da CEMIG referente ao atendimento de consumidores limita o comprimento do ramal de ligação a 30 metros.

Foi feita uma simulação de saídas de ramais de ligação, considerando uma rede com vão de 45 m e lotes com tamanho de frente padrão, verificando-se que o comprimento dos ramais não excede o limite de 30 metros.

7. CRITÉRIO DE LOCAÇÃO DE POSTE E ARBORIZAÇÃO

Para a obtenção de índices de iluminação satisfatórios nos projetos com vão de até 45 m, a rede elétrica, bem como a iluminação pública, devem ser implantadas nas calçadas oeste e norte, ficando reservadas as calçadas leste e sul para o plantio de árvores, com o porte adequado às dimensões da via pública e ao paisagismo local. As calçadas oeste e norte devem ser arborizadas com árvore de pequeno porte. Esse critério já é especificado pela CEMIG para as redes de distribuição construídas atualmente e está de acordo com recomendações do CODI - Comitê Técnico da Distribuição.

8. PROJETOS PILOTO

Após as avaliações da rede experimental e dos critérios técnicos, descritas anteriormente, foram desenvolvidos quatro projetos piloto utilizando-se vãos de até 45 m, com o objetivo de analisar seus custos e as questões relacionadas à construção das redes.

Foram levantados dados comparativos entre o número de estruturas e o orçamento dos projetos com vão maior e os dos projetos com vão convencional.

As estruturas foram montadas nas redes piloto, da seguinte forma:

- luminária fechada modelo IP101 SRB da TECNOWATT, montada a aproximadamente 9,0 m do solo;
- lâmpada VS 100 W - ovóide;
- rede secundária fixada a 7,4 m do solo.

8.1- Projeto Piloto em Juiz de Fora

O projeto piloto desenvolvido em Juiz de Fora apresenta as seguintes características:

- tensão primária: 23,1 kV;
- rede primária: trifásica com cabo CA - 2 AWG;
- rede secundária: cabos isolados quadruplex 3x1x120+70 mm² e 3x1x70+70 mm².

A Tabela 6 mostra que o projeto com vão máximo de 45 m proporciona uma redução de 15% no número de estruturas e 7,7% no custo global da rede, em relação ao projeto com vão convencional.

Tabela 6 - Custo do Projeto Piloto em Juiz de Fora

Projeto c/ Vão Convencional (30 a 35m)		Projeto c/ Vão Maior (Até 45m)		% de Redução de Estruturas	% de Redução de Custo
Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)	Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)		
40	R\$ 52.274,22	34	R\$ 48.272,81	15,0%	7,7%

8.2- Projeto Piloto em Santa Luzia

O projeto piloto desenvolvido em Santa Luzia apresenta as seguintes características:

- tensão primária: 13,8 kV;
- rede primária: monofásica com cabo CA - 2 AWG;
- rede secundária: cabos isolados quadruplex 3x1x70+70 mm² e 3x1x35+70 mm².

A Tabela 7 mostra que o projeto com vão máximo de 45 m proporciona uma redução de 21,8% no número de estruturas e 8,5% no custo global da rede, em relação ao projeto com vão convencional.

Tabela 7 - Custo do Projeto Piloto em Santa Luzia

Projeto c/ Vão Convencional (30 a 35m)		Projeto c/ Vão Maior (Até 45m)		% de Redução de Estruturas	% de Redução de Custo
Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)	Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)		
55	R\$ 46.126,90	43	R\$ 42.186,73	21,8%	8,5%

8.3- Projeto Piloto em Uberaba

O projeto piloto desenvolvido em Uberaba apresenta as seguintes características (Fotos 3 e 4):

- tensão primária: 13,8 kV;
- rede primária: trifásica com cabo coberto de 50mm²;
- rede secundária: cabos isolados quadruplex 3x1x70+70 mm² e 3x1x35+70 mm².

A Tabela 8 mostra que o projeto com vão máximo de 45 m proporciona uma redução de 31,1% no número de estruturas e 12,1% no custo global da rede, em relação ao projeto com vão convencional.

Tabela 8 - Custo do Projeto Piloto em Uberaba

Projeto c/ Vão Convencional (30 a 35m)		Projeto c/ Vão Maior (Até 45m)		% de Redução de Estruturas	% de Redução de Custo
Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)	Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)		
196	R\$ 286.201,70	135	R\$ 255.317,67	31,1%	12,1%

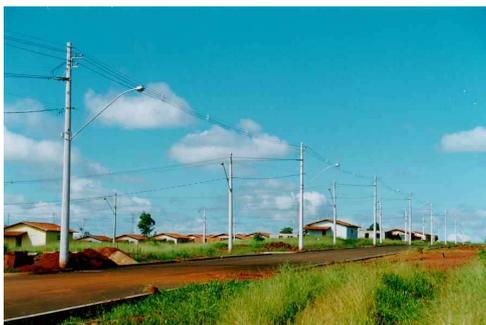


Foto 3 - Rede Piloto com Vão Maior - Uberaba
Vista Geral



Foto 4 - Rede Piloto com Vão Maior - Uberaba
Iluminação

8.4- Projeto Piloto em Santa Efigênia de Minas

O projeto piloto desenvolvido em Santa Efigênia de Minas apresenta as seguintes características:

- tensão primário: 13,8 kV;
- rede primária: trifásica com cabo coberto de 50mm²;
- rede secundária: cabos isolados quadplex 3x1x70+70 mm² e 3x1x35+35 mm².

A Tabela 9 mostra que o projeto com vão máximo de 45 m proporciona uma redução de 20% no número de estruturas, em relação ao projeto com vão convencional.

Tabela 9 - Custo do Projeto Piloto em Santa Efigênia de Minas

Projeto c/ Vão Convencional (30 a 35m)		Projeto c/ Vão Maior (Até 45m)		% de Redução de Estruturas	% de Redução de Custo
Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)	Número de Estruturas	Orçamento (Material + Mão-de-obra)		
45 (a)	R\$ (b)	36 (a)	R\$ (b)	20 %	(c) %

Nota: (a) 4 das estruturas serão instaladas para desvio de uma RDR;

(b) dados ainda não disponíveis;

(c) dado ainda não disponível. Estima-se uma redução de 8,0 a 8,5%.

8.5- Medições

Os índices de iluminância média e de desuniformidade medidos para a iluminação pública das redes piloto construídas apresentaram os seguinte valores médios:

Tabela 10 - Medições da IP nas Redes Piloto

Condição	Índices Fotométricos	
	E _{med} (Lux)	F _d
Vão 45m - VS 100 W	9,5	17,5

Esses índices fotométricos estão dentro dos limites especificados para a iluminação de vias secundárias de bairros (Foto 4).

Constatou-se que o vão médio dos projetos piloto desenvolvidos foi de 40,5 m. Para esse valor de vão, os índices fotométricos serão melhores que os da Tabela 10.

8.6- Avaliação dos Projetos/Redes Piloto

Analisando-se o custo das redes piloto, verificou-se que o projeto com vão máximo de 45 m e IP com lâmpadas VS 100 W - ovóide apresenta uma redução média de 19% no número de estruturas e 8% no custo global, em relação ao projeto com vão convencional (30 a 35 m). O loteamento do projeto piloto de Uberaba apresenta algumas características específicas que contribuiram para que as reduções do número de estruturas e de custo fossem superiores a esses valores.

Verificou-se que não houve dificuldade no lançamento dos condutores das redes primária e secundária, com vãos de até 45 m.

Para manter uma distância segura para a operação e manutenção da rede, verificou-se que o circuito secundário deve ser montado, no poste de 11 m, a uma altura máxima de 7,4 m em relação ao solo.

Em uma das estruturas da rede do projeto em Uberaba, foram conectados 6 ramais de ligação com cabo de 16 mm², todos com vãos inferiores a 30 m e sem problema de lançamento/construção.

Constatou-se que a altura de montagem da luminária deve ser compatível com o alcance da escada veicular e caçamba que são os equipamentos utilizados para a manutenção da IP.

9. CONCLUSÕES

Nas redes experimental e piloto, com vão máximo de 45 m e lâmpada VSAP 100 W - ovóide, foram medidos níveis de iluminância média acima de 8 Lux e fatores de desuniformidade inferiores a 20, que são valores adequados para iluminação de vias secundárias de bairro.

Analisando-se o custo das redes piloto, verificou-se que o projeto com vão máximo de 45 m apresenta uma redução média de 19% no número de estruturas e 8% no custo global, em relação ao projeto com vão convencional (30 a 35 m).

Além disso, com o aumento do vão de rede urbana, obtém-se reduções do custo de manutenção de estruturas e iluminação pública e do ativo da empresa, em função da diminuição do número de postes.

Atualmente, gasta-se um valor relativamente alto com manutenção da iluminação pública, em especial com a substituição de lâmpadas e reparo/troca de luminárias.

Dessa forma, constatou-se que o aumento do comprimento máximo do vão de rede urbana para 45m é técnico-economicamente viável.

10. BIBLIOGRAFIA

- I. CEMIG - ND - 2.7 - Instalações Básicas de Redes de Distribuição Aéreas Isoladas - Jan./1998
- II. CEMIG - ND - 2.9 - Instalações Básicas de Redes de Distribuição Protegidas - Julho/1999
- III. CEMIG - ND - 3.1 - Projetos de Redes de Distribuição Aéreas Urbanas - Maio/1990
- IV. CEMIG - ND - 3.4 - Projetos de Iluminação Pública - Outubro/1996