

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA
DA ILUMINAÇÃO DE RODOVIAS
FEDERAIS COM A REDUÇÃO
DO NÚMERO DE ACIDENTES**

2011

LINALDO SERAFIM

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ILUMINAÇÃO DE RODOVIAS FEDERAIS
COM A REDUÇÃO DO NÚMERO DE ACIDENTES

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

Guaratinguetá
2011

S481a	<p>Serafim, Linaldo Análise da influência da iluminação de rodovias federais com a redução do número de acidentes / Linaldo Serafim – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 73 f : il. Bibliografia: f. 64</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli</p> <p>1. Rodovias - iluminação 2. Acidentes de trânsito I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 625.7:628.9</p>
-------	--

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ILUMINAÇÃO DE RODOVIAS FEDERAIS COM
A REDUÇÃO DO NÚMERO DE ACIDENTES**

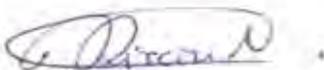
LINALDO SERAFIM

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUADO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

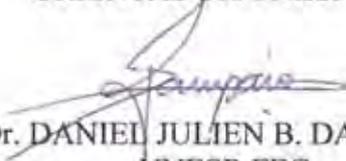
**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena
Coordenador

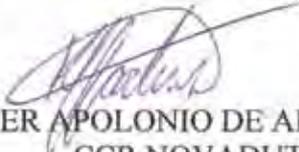
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
ORIENTADOR/UNESP-FEG



Prof. Dr. DANIEL JULIEN B. DA S. SAMPAIO
UNESP-FEG



Eng. KLEBER APOLONIO DE ALMEIDA MARTINS
CCR NOVADUTRA

de modo especial, à meu pai e minha irmã pelo apoio e incentivo e a todos meus amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu pai e à minha irmã pelo amor, carinho e compreensão,

à minha mãe, que mesmo ausente para sentar-se ao lado de Deus, sempre me guia e me ilumina,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli* , por quem tenho profundo respeito e admiração, pela oportunidade e parceria no desenvolvimento deste trabalho,

aos colegas da Polícia Rodoviária Federal que compreenderam meus horários durante a faculdade e aos que me auxiliaram no levantamento de dados,

à todos meus colegas e amigos que de forma direta ou indireta me ajudaram e foram companheiros,

aos professores do departamento, com os quais aprendi muito mais que uma profissão,

à todos os funcionários do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e presteza.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”

Dalai Lama

SERAFIM, Linaldo. **Análise da influência da iluminação de rodovias federais com a redução do número de acidentes.** 2011. 74 f. Trabalho de graduação. (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

O crescente índice de acidentes de trânsito, seguido pela alta taxa de mortalidade em decorrência destas ocorrências, favoreceu para a classificação dos acidentes de trânsito como um problema de saúde pública no Brasil. Estes acidentes consomem uma parcela significativa do Produto Interno Bruto, principalmente nos cuidados com as vítimas. Preocupado com este cenário de tragédias e com muitos recursos sendo gastos apenas no efeito, este trabalho busca analisar a influência da iluminação de rodovias federais com a redução do número de acidentes. Foram objetos de estudo alguns trechos de rodovias federais que receberam iluminação, onde foi realizado o levantamento de dados estatísticos dos acidentes antes e após a via ser iluminada. Com os resultados obtidos, fez-se uma análise econômica, considerando valores consumidos por acidentes de trânsito e valores necessários para a instalação de iluminação em rodovias.

PALAVRAS-CHAVE: iluminação de rodovias, rodovias federais, acidentes de trânsito.

SERAFIM, Linaldo. **Analysis of the influence of the federal highway lighting versus the reduction of the number of accidents.** 2011. 74 p. Graduation paper (Graduation in Electrical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

The increasing rate of traffic accidents, followed by the high rate of mortality due to these occurrences, favored to the classification of traffic accidents as a public health problem in Brazil. These accidents consume a significant portion of Gross Domestic Product (GDP), especially related to the victims. Considering this scenery with many tragedies and resources being spent only in the end, this paper seeks to examine the influence of federal highways lighting by reducing the number of accidents. Federal Highways sections that received lighting were taken up for study, therefore a survey of statistical data has been raised considering the accidents before and after the route had been illuminated. Taking advantage of the results obtained, an economic analysis has been made considering the amounts consumed by traffic accidents versus the values required for the installation of lighting on highways.

KEYWORDS: highways lighting, federal highways, traffic accidents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Intervalo do espectro eletromagnético que forma a luz visível	19
Figura 2 – Definição de lúmen	21
Figura 3 – Malha de verificação tipo detalhada	23
Figura 4 – Foto noturna ilustrando os diferentes tipos vias	25
Figura 5 – Classificação das vias públicas	26
Figura 6 – Componentes de uma lâmpada a vapor de mercúrio à alta pressão	34
Figura 7 – Lâmpada a vapor de mercúrio à alta pressão	35
Figura 8 – Componentes de uma lâmpada mista	35
Figura 9 – Lâmpada mista	36
Figura 10 – Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão com bulbo tubular	37
Figura 11 – LED de alto brilho	38
Figura 12 – Luminária a LED	38
Figura 13 – Luminária a LED com alimentação solar	39
Figura 14 – Refletor de alumínio anodizado especular	41
Figura 15 – Luminária com refrator em vidro boro-silicato	42
Figura 16 – Luminária com difusor leitoso em acrílico	42
Figura 17 – Classificação das luminárias quanto à distribuição	44
Figura 18 – Disposição unilateral de luminárias	46
Figura 19 – Disposição bilateral alternada de luminárias	47
Figura 20 – Disposição bilateral frente a frente	47
Figura 21 – Disposição em canteiro central	48
Figura 22 – Trecho 1	55
Figura 23 – Trecho 2	57
Figura 24 – Trecho 3	59
Figura 25 – Trecho 4	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cor e comprimento de onda	20
Tabela 2 – Classificação da via em função do tráfego motorizado	27
Tabela 3 – Classificação da via em função do tráfego de pedestres	27
Tabela 4 – Razão de iluminância entre pontos adjacentes	27
Tabela 5 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias locais (A3)	29
Tabela 6 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias de ligação (B)	29
Tabela 7 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias principais (C1)	30
Tabela 8 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias normais (C2)	30
Tabela 9 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para secundárias (C3)	31
Tabela 10 – Principais características das lâmpadas em iluminação pública	39
Tabela 11 – Graus de proteção: IPXXX (IEC 529)	43
Tabela 12 – Alturas mínimas de montagem recomendadas	46
Tabela 13 – Custos dos acidentes por gravidade, em rodovias federais	53
Tabela 14 – Custo total por componente primário	54
Tabela 15 – Implicação média no custo total do acidente, associada a cada pessoa envolvida	54
Tabela 16 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 1	56
Tabela 17 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação	56
Tabela 18 – Economia monetária com a redução dos acidentes	56
Tabela 19 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 2	58
Tabela 20 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação	58
Tabela 21 – Economia aos cofres públicos após a iluminação	58
Tabela 22 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 3	60
Tabela 23 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação	60
Tabela 24 – Economia aos cofres públicos após a iluminação	60
Tabela 25 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 4	62
Tabela 26 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação	62
Tabela 27 – Economia aos cofres públicos após a iluminação	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CTB	- Código de Trânsito Brasileiro
IEC	- International Electrotechnical Commission
DENATRAN	- Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPVAT	- Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
IML	- Instituto Médico Legal
IP	- Iluminação Pública
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LED	- Light-emitting diode
LLV	- Linhas laterais da via
LTV	- Linhas transversais da via
OMS	- Organização Mundial da Saúde
PIB	- Produto Interno Bruto
PRF	- Polícia Rodoviária Federal

LISTA DE SÍMBOLOS

c	Velocidade da luz
C _{ACIDENTE}	Custos dos acidentes de trânsito
C _{ATENDIMENTO}	Custo do atendimento policial
C _{DANOS À PROPRIEDADE PRIVADA}	Custo dos danos à propriedade privada
C _{DANOS À PROPRIEDADE PÚBLICA}	Custo dos danos à propriedade pública
C _{DANOS MATERIAIS AOS VEÍCULOS}	Custo dos danos materiais aos veículos
C _{HOSPITALAR}	Custo do atendimento hospitalar
C _{INSTITUCIONAIS}	Custos institucionais
C _{JUDICIAIS}	Custo de processos judiciais
C _{PERDA DE CARGA}	Custo de perda de carga
C _{PERDA DE PRODUÇÃO}	Custo da perda de produção
C _{PESSOAS}	Custos associado às pessoas
C _{PÓS-HOSPITALAR}	Custo pós-hospitalar
C _{PRÉ-HOSPITALAR}	Custo do atendimento pré-hospitalar
C _{REMOÇÃO/PÁTIO}	Custo de remoção/pátio
C _{REMOÇÃO/TRANSLADO}	Custo de remoção/translado
C _{REPOSIÇÃO}	Custo de reposição
C _{VEÍCULOS}	Custos associados aos veículos
C _{VIA/AMBIENTE}	Custos associados à via e ao ambiente do local de acidente
d	Distância
E	Iluminância
E _{MED}	Iluminância média
E _{MED.MIN}	Iluminância média mínima
E _{MIN}	Iluminância mínima
f	Frequência
I	Intensidade luminosa
U	Razão de uniformidade da iluminância
U _{MIN}	Fator de uniformidade de iluminância mínimo
λ	Comprimento de onda
η	Eficiência luminosa
Φ	Fluxo luminoso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	VISÃO E ILUMINAÇÃO	18
3	LUMINOTÉCNICA	19
3.1	Luz e cor	19
3.2	Intensidade luminosa (I)	20
3.3	Fluxo luminoso (Φ)	20
3.4	Eficiência luminosa (η)	21
3.5	Iluminância (E)	21
4	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	22
4.1	Conceitos e definições	22
4.2	Definições sobre vias de circulação	23
4.3	Classificação das vias públicas	25
4.4	Classificação do volume de tráfego nas vias	27
4.5	Requisitos de iluminância e uniformidade	28
4.5.1	Vias arteriais	28
4.5.2	Vias coletoras	28
4.5.3	Vias locais	28
4.5.4	Vias de ligação	29
4.5.5	Vias principais	29
4.5.6	Vias normais	30
4.5.7	Vias secundárias	30
4.5.8	Vias irregulares	31
4.5.9	Vias especiais	31
5	LÂMPADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA	32
5.1	Características de uma lâmpada	32
5.1.1	Vida útil	32
5.1.2	Fator de depreciação	33
5.1.3	Temperatura de cor	33
5.1.4	Índice de reprodução de cores	33
5.1.5	Rendimento luminoso	33
5.2	Lâmpadas de descarga	34
5.2.1	Lâmpadas a vapor de mercúrio à alta pressão	34
5.2.2	Lâmpadas mistas	35
5.2.3	Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão	36
5.3	Lâmpadas de estado sólido – LED	37
5.4	Comparativo entre lâmpadas	39
6	LUMINÁRIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	41
6.1	Refletores	41
6.2	Refratores	42
6.3	Difusores	42
6.4	Graus de proteção contra agentes exteriores	43
6.5	Classificação quanto ao fluxo luminoso	43
6.5.1	Distribuição longitudinal vertical	44
6.5.2	Distribuição lateral	44
6.5.3	Controle de distribuição	45
6.6	Altura de montagem	45
6.7	Disposição de luminárias	46

6.7.1	Disposição unilateral	46
6.7.2	Disposição bilateral alternada	46
6.7.3	Disposição bilateral frente a frente	47
6.7.4	Disposição em canteiro central	47
7	CUSTOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO	49
7.1	Acidentes de trânsito	49
7.2	Custos envolvidos em um acidente trânsito	49
7.2.1	Custos associado às pessoas (C _{PESSOAS})	50
7.2.2	Custos associados aos veículos (C _{VEÍCULOS})	51
7.2.3	Custos institucionais (C _{INSTITUCIONAIS})	52
7.2.4	Custos associados à via e ao ambiente do local de acidente (C _{VIA/AMBIENTE})	52
7.2.5	Custos não mensuráveis	52
7.3	Função de custos dos acidentes	53
7.4	Custos dos acidentes de trânsito em rodovias federais	53
8	ESTUDOS DE CASO	55
8.1	Trecho 1	55
8.2	Trecho 2	57
8.3	Trecho 3	59
8.4	Trecho 4	61
9	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	66
	APÊNDICE A – Custo aproximado para instalação de 1 km de iluminação	67
	ANEXO A – Cálculo Luminotécnico	71
	ANEXO B – Planilha com valores de execução	73

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito, em todo o seu desdobramento, geram grande encargo ao governo, consumindo uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB), principalmente nos cuidados com as vítimas, onde o crescente índice de acidentes com elevada taxa de mortalidade favoreceu para a classificação dos acidentes de trânsito como um problema de saúde pública no Brasil.

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) reza no parágrafo quinto do primeiro capítulo que os órgãos e entidades de trânsito darão prioridade em suas ações à defesa da vida. Dessa forma, nas rodovias federais a segurança e a prevenção de acidentes são de competência do Ministério das Cidades, por meio do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN); do Ministério dos Transportes, por intermédio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT); e do Ministério da Justiça, por meio da Polícia Rodoviária Federal (PRF);

Preocupado com este cenário de tragédias e com muitos recursos sendo gastos apenas no efeito, este trabalho busca analisar a influência da iluminação de rodovias federais com a redução do número de acidentes no período noturno, respeitando o fundamento do CTB que é preservar vidas. Para isto, foram objeto de estudos alguns trechos de rodovias federais que receberam iluminação, onde foi realizado o levantamento de dados estatísticos dos acidentes antes e após a via ser iluminada. Os parâmetros analisados foram os números de acidentes, quantidade de veículos envolvidos e quantidade de pessoas ilesas, feridas e mortas. Com os resultados obtidos, baseado nos estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), que trata sobre os custos de acidentes de trânsito em rodovias federais, fez-se uma análise econômica considerando valores consumidos por acidentes de trânsito e valores necessários para a instalação de iluminação em rodovias.

O trabalho está dividido em nove capítulos, sendo o primeiro capítulo a introdução e o último a conclusão.

No segundo capítulo é apresentada uma breve contextualização da importância da luz para o ser humano, auxiliando na capacidade de percepção espacial.

O terceiro capítulo trata dos conceitos e grandezas luminotécnicas importantes para iluminação pública.

No quarto capítulo são apresentados alguns conceitos relacionados à instalação física da iluminação pública e a classificação de vias, segundo a norma vigente, quanto ao fluxo de veículos e pedestres.

O quinto capítulo aborda as lâmpadas mais utilizadas em iluminação pública e suas principais características, seguido pelo capítulo 6 que trata sobre luminárias em iluminação pública.

O capítulo 7 apresenta os custos associados a um acidente de trânsito baseado nos estudos do IPEA, obtendo um custo médio por acidente, de acordo com a sua gravidade e por elementos de custo.

O capítulo 8 apresenta 4 estudos de caso, avaliando o desempenho da iluminação da rodovia com a redução do número de acidentes e preservação de vidas.

2 VISÃO E ILUMINAÇÃO

A importância da luz para o ser humano está ligada ao sentido da visão, que é a principal ferramenta de percepção espacial.

De um ponto de vista puramente físico, o olho humano é um complexo órgão sensorial que capta energia luminosa e converte em sinais elétricos. Estes sinais elétricos são enviados ao cérebro, informando sobre distância, forma e movimento de tudo que nos cerca.

Conhecer as condições ideais do meio para possibilitar uma boa visão ou entender a satisfação do indivíduo quanto a estas condições ajuda a formar as definições de conforto luminoso, de boa visão e de boa iluminação.

Segundo Costa (1998), as principais características do olho humano são: acomodação, adaptação, campo de visão, acuidade, persistência visual e visão de cores.

A boa visão depende da combinação de uma boa iluminação com um olho de boa acuidade. Um indivíduo de vista fraca pode ser auxiliado por uma boa iluminação e é possível enxergar bem com má iluminação, graças ao processo de adaptação visual. Entretanto, a adaptação exige esforço fisiológico, que em demasia provoca fadiga, podendo fazer surgir sintomas como dores de cabeça, irritabilidade e perda de produtividade.

A visão é geralmente avaliada pela capacidade de discernir pequenos contrastes de brilho, de cor e sombra, de ver pequenos detalhes nitidamente, de perceber mudanças de forma e movimento no campo visual. Este conjunto de requisitos dá a medida da eficiência visual.

Baseado nos requisitos da boa visão, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a Norma Técnica NBR 5413/1992, que trata sobre a iluminação de interiores, onde as diferentes tarefas visuais são classificadas quanto ao menor contraste e ao menor detalhe a ser percebido da distância adequada e também ao nível tolerável de brilho, à percepção de cor, precisão e velocidade exigidas.

Para iluminação viária, a Norma em vigência é a NBR 5101/1992. Esta Norma fixa requisitos, considerados como mínimos necessários, à iluminação de vias públicas, os quais são destinados a propiciar algum nível de segurança aos tráfegos de pedestres e veículos.

3 LUMINOTÉCNICA

Este capítulo define os principais conceitos e grandezas luminotécnicas importantes para a abrangência da iluminação pública.

3.1 Luz e cor

A luz pode ser definida como a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual após o estímulo da retina ocular. A radiação visível pelo olho humano se situa, aproximadamente, entre os comprimentos de onda de 380 a 780 nm, conforme ilustra a Figura 1.

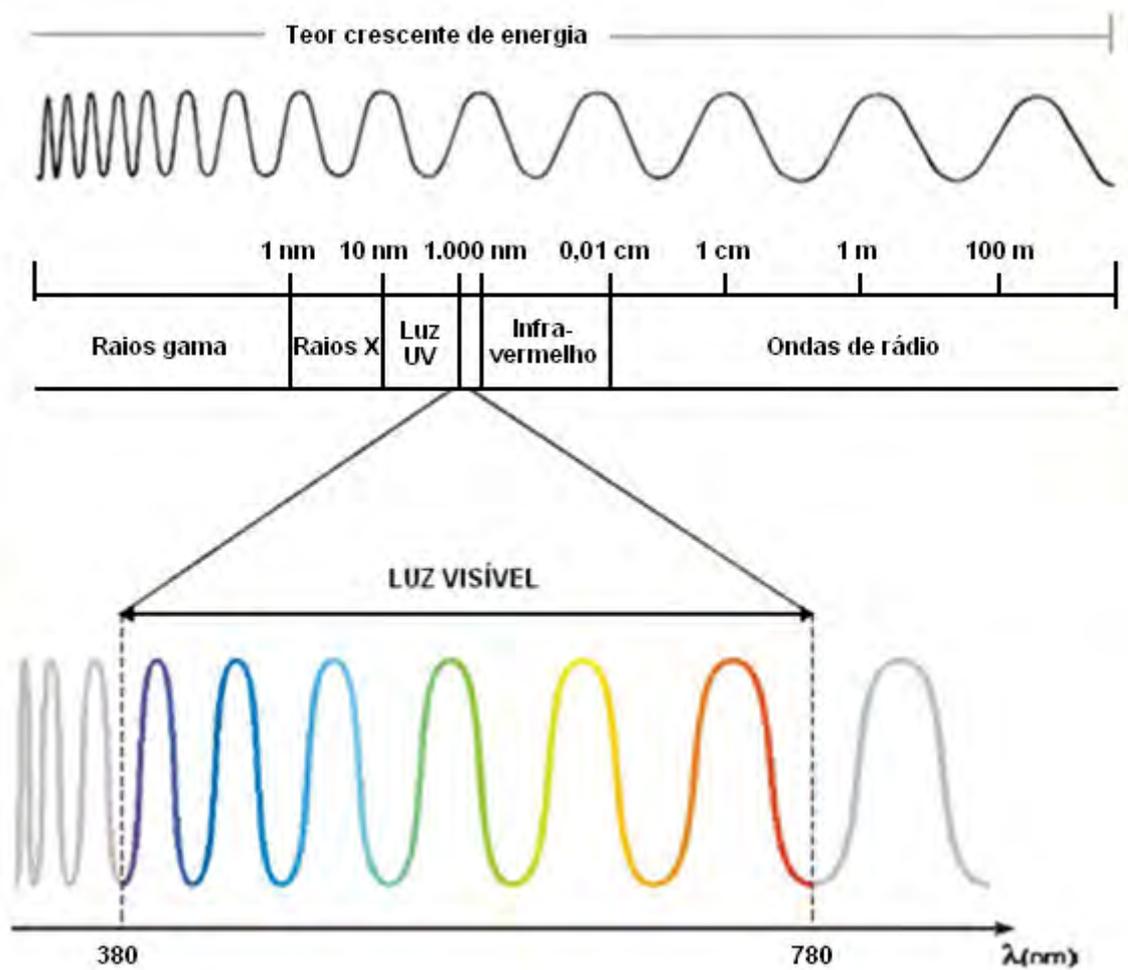


Figura 1 – Intervalo do espectro eletromagnético que forma a luz visível (NISHIDA 2007)

O comprimento da onda, definido por λ , equivale a divisão da velocidade de propagação da luz, c , pela frequência, f , conforme ilustra a equação (1).

$$\lambda = c / f \quad (1)$$

Onde c é constante e igual a 300.000 Km/s.

Cada comprimento de onda, no intervalo das radiações visíveis, causa diferentes sensações de cor no olho humano. A sequência de cores é correspondente à do arco-íris, e pode ser relacionada conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Cor e comprimento de onda

Cor	Comprimento de onda (λ)
Violeta	380 a 436 nm
Azul	436 a 495 nm
Verde	495 a 566 nm
Amarelo	566 a 589 nm
Laranja	589 a 627 nm
Vermelho	627 a 780 nm

3.2 Intensidade luminosa (I)

A Intensidade Luminosa, representada por I , pode ser definida como a medida da percepção da potência de radiação visível emitida por uma fonte luminosa em uma dada direção. A unidade para medida da intensidade luminosa é a Candela (cd).

3.3 Fluxo luminoso (Φ)

O fluxo luminoso, representado por Φ , é a radiação total emitida em todas as direções por uma fonte de luz que pode produzir estímulo visual. Sua unidade é o lúmen, que representa a quantidade de luz irradiada, através de uma abertura de 1m^2 feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio, por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 cd, em todas as direções e posicionada no centro, conforme ilustra a Figura 2.

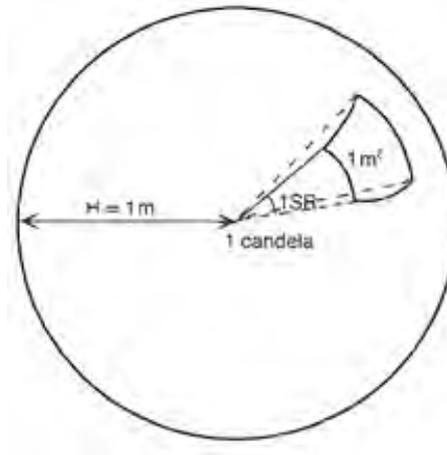


Figura 2 – Definição de lúmen (CREDER, 2007)

Segundo Mamede (2007), o fluxo luminoso, apesar de ser uma forma de potência, não pode ser expresso em watts, pois é uma função da sensibilidade do olho humano à faixa de percepção para o espectro de cores.

3.4 Eficiência luminosa (η)

A eficiência luminosa, representada por η , é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz (Φ) e a potência consumida em watts (P), conforme equação (2).

$$\eta = \Phi / P \quad [\text{lumens/W}] \quad (2)$$

3.5 Iluminância (E)

A iluminância, representada por E , é a densidade de fluxo luminoso recebido por uma superfície, situada a uma distância d da fonte. A iluminância num determinado ponto, será então obtida pela razão da intensidade luminosa (I) pela distância ao quadrado da fonte (d^2), conforme a equação (3).

$$E = I / d^2 \quad (3)$$

A unidade é o lux (lx), onde um lux corresponde ao fluxo luminoso de 1 lúmen em uma superfície de 1 m^2 .

4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Iluminação Pública (IP) é o serviço que tem por objetivo prover luz, ou claridade artificial aos logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, incluindo aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno.

Este capítulo apresenta alguns conceitos relacionados à instalação física da iluminação pública, define e classifica as vias quanto ao fluxo de veículos e pedestres; e estipula valores de iluminância média mínima para as vias.

4.1 Conceitos e definições

A seguir são apresentados alguns conceitos e definições associadas à instalação física da iluminação pública e das grandezas relacionadas à verificação dos níveis de iluminamento:

- **Altura de montagem:** é definida como a distância vertical entre a superfície da via e o centro aparente da fonte de luz ou luminária.
- **Avanço:** distância transversal entre o meio-fio ou acostamento da via e a projeção de centro de luz aparente da luminária.
- **Espaçamento:** distância entre postes adjacentes onde estão instaladas as luminárias, medida paralelamente ao longo da linha longitudinal da via.
- **Iluminância média horizontal:** iluminância em serviço, da área delimitada pela malha de verificação tipo detalhada, periódica ou para constatação de valores objeto do projeto, ao nível da via, sobre o número de pontos considerados, destacados na Figura 3.

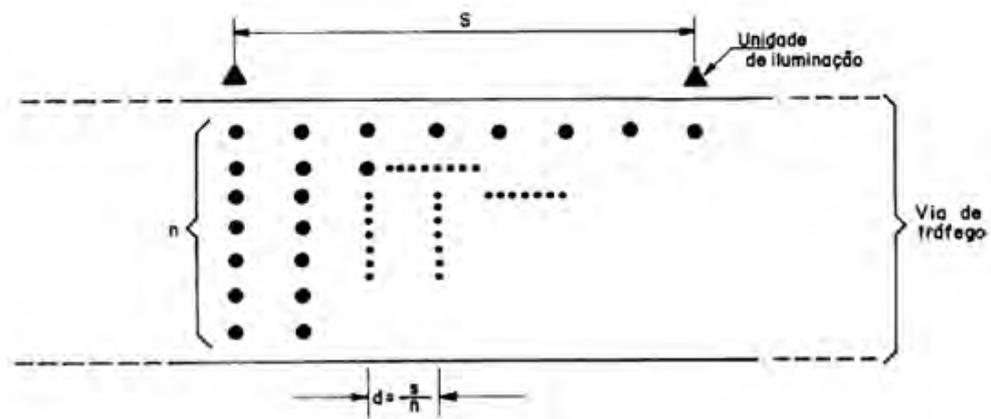


Figura 3 – Malha de verificação tipo detalhada (NBR5101, 1992)

Onde:

S = espaçamento entre luminárias

d = espaçamento longitudinal entre pontos de medição (ou cálculo)

n = número de pontos transversais

- Fator de uniformidade da iluminância (U): razão entre a iluminância mínima (E_{MIN}) e média (E_{MED}), em um plano especificado, dada pela Equação 4.

$$U = E_{MIN} / E_{MED} \quad (4)$$

4.2 Definições sobre vias de circulação

De acordo com o tráfego de veículos e pedestres, a NBR 5101 classifica as vias de circulação conforme segue:

- Vias arteriais: são vias exclusivas para tráfego motorizado, que se caracterizam por grande volume e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista. Geralmente, não existe o ofuscamento pelo tráfego oposto nem construções ao longo da via. O sistema arterial serve mais especificamente a grandes geradores de tráfego e viagens de longas distâncias, mas, ocasionalmente, pode servir de tráfego local.

- Vias coletoras: são vias exclusivamente para tráfego motorizado, que se caracterizam por um volume de tráfego inferior e por um acesso de tráfego superior àqueles das vias arteriais.
- Vias especiais: são acessos e/ou vias exclusivas de pedestres a jardins, praças, calçadas, etc.
- Vias irregulares: são passagens criadas pelos moradores, de largura, piso, declive e arruamento variáveis, que dão acesso a pedestres e, em raros casos, a veículos, com traçado irregular, na maioria dos casos, determinado pelos usuários do local ou pelas próprias construções.
- Vias de ligação: são ligações de centros urbanos e suburbanos, porém não pertencentes à classe das vias rurais. Geralmente, só têm importância para tráfego local.
- Vias locais: são vias que permitem acesso às propriedades rurais, com grande acesso e pequeno volume de tráfego.
- Vias normais: são avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas, onde há predominância de construções residenciais, trânsito de veículos (não tão intenso) e trânsito de pedestres.
- Vias principais: são avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas, onde há predominância de construções comerciais, assim como trânsito de pedestres e de veículos.
- Vias rurais: são vias mais conhecidas como estradas de rodagem e que nem sempre apresentam, exclusivamente, tráfego motorizado.
- Vias secundárias: são avenidas e ruas com ou sem calçamento, onde há construções, e o trânsito de veículos e pedestres não é intenso.
- Vias urbanas: são aquelas caracterizadas pela existência de construções às suas margens, e a presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala.

4.3 Classificação das vias públicas

A NBR5101 classifica as vias públicas a serem iluminadas, de acordo com o volume do tráfego motorizado e circulação de pedestres, da seguinte forma:

- Classe A (vias rurais),
 - A1 – vias arteriais;
 - A2 – vias coletoras;
 - A3 – vias locais;
- Classe B (vias de ligação);
- Classe C (vias urbanas);
 - C1 – vias principais;
 - C2 – vias normais;
 - C3 – vias secundárias;
 - C4 – vias irregulares;
- Classe D (vias especiais).

A Figura 4 destaca uma imagem noturna com a iluminação dos diferentes tipos de vias e a Figura 5 ilustra a classificação das vias conforme a NBR 5101.



Figura 4 – Foto noturna ilustrando os diferentes tipos vias (FOTOS, 2009)

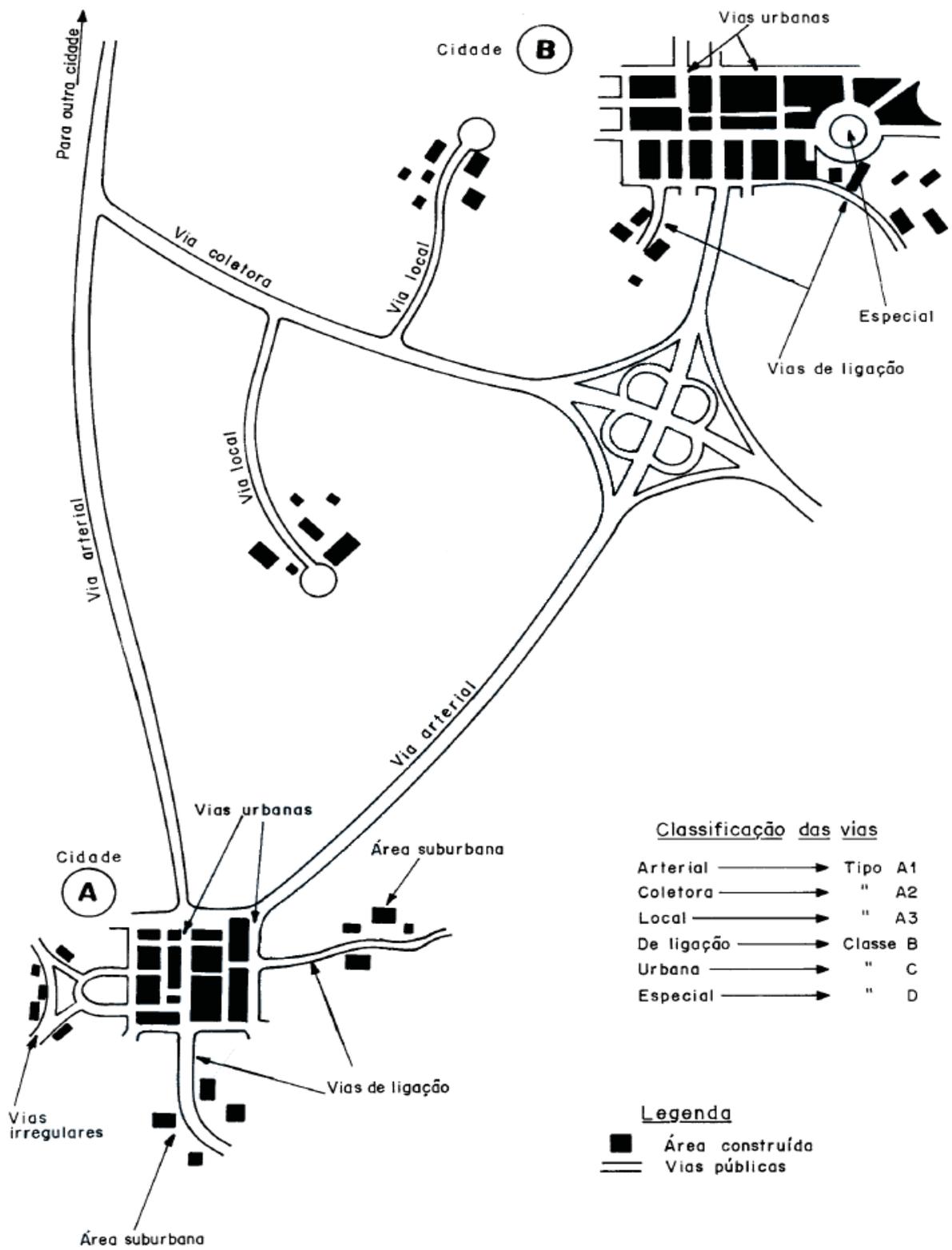


Figura 5 – Classificação das vias públicas (NBR5101, 1992)

4.4 Classificação do volume de tráfego nas vias

A NBR 5101 classifica as vias públicas de acordo com o seu volume de tráfego noturno de veículos e pedestres, conforme as Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Classificação da via em função do tráfego motorizado

Classificação	Volume de tráfego noturno ¹ , de veículos por hora, em ambos os sentidos ² , em pista única
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

¹ Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18h e 21h.

² Valores para velocidades regulamentadas por Lei.

Tabela 3 – Classificação da via em função do tráfego de pedestres

Classificação	Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado
Sem (S)	Como nas vias de classe A1
Leve (L)	Como nas vias residências médias
Médio (M)	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Como nas vias comerciais principais

Considerando que o objetivo da iluminação pública, entre outros, é proporcionar segurança ao tráfego de veículos e pedestres, são estabelecidas a iluminância média mínima e uniformidade mínima requeridas ao projeto, conforme segue:

- Iluminância de pontos adjacentes: a variação da iluminância entre dois pontos adjacentes quaisquer (distância máxima entre eles de 1,5m), situados na pista de rolamento da via de tráfego motorizado, deve ser tal que a razão da menor para a maior iluminância obedeça aos valores mínimos da Tabela 4.

Tabela 4 – Razão de iluminância entre pontos adjacentes

Classificação do tráfego da via	Razão mínima entre iluminância de pontos adjacentes
Leve	0,40
Médio	0,50
Intenso	0,70

- Iluminância média mínima: a iluminância média mínima ($E_{MED.MIN}$) é obtida pela média aritmética das leituras realizadas, em plano horizontal, sobre o nível do piso e sob condições estabelecidas.

4.5 Requisitos de iluminância e uniformidade

Estabelece os requisitos mínimos de iluminância e uniformidade em função do tipo de via e volume de tráfego, onde:

- a) $E_{MED.MIN}$ = iluminância média mínima.
- b) U_{MIN} = fator de uniformidade de iluminância mínimo.

4.5.1 Vias arteriais

Para as vias arteriais (A1), independente do volume de tráfego, a NBR 5101 fixa os valores mínimos, sendo:

$$E_{MED.MIN} = 20 \text{ lux}$$

$$U_{MIN} = 0,5$$

4.5.2 Vias coletoras

As vias coletoras (A2), para qualquer volume de tráfego, possui os seguintes valores mínimos fixados pela NBR5101:

$$E_{MED.MIN} = 20 \text{ lux}$$

$$U_{MIN} = 0,3$$

4.5.3 Vias locais

Para as vias locais (A3), os valores mínimos de iluminância e uniformidade são definidos em função do tráfego de veículos e pedestres, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias locais (A3)

Classificação do tráfego		$E_{MED.MIN}$	U_{MIN}
Veículos	Pedestres		
Leve	Leve	2	0,2
	Médio	5	0,2
	Intenso	10	0,2
Médio	Leve	5	0,2
	Médio	10	0,2
	Intenso	14	0,2

4.5.4 Vias de ligação

Para as vias de ligação (B), os valores mínimos de iluminância e uniformidade são definidos em função do tráfego de veículos e pedestres, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias de ligação (B)

Classificação do tráfego		$E_{MED.MIN}$	U_{MIN}
Veículos	Pedestres		
Leve	Leve	2	0,2
	Médio	5	0,2
	Intenso	10	0,2
Médio	Leve	5	0,2
	Médio	10	0,2
	Intenso	14	0,2
Intenso	Leve	10	0,2
	Médio	14	0,2
	Intenso	17	0,25

4.5.5 Vias principais

Para as vias principais (C1), os valores mínimos de iluminância e uniformidade são definidos em função do tráfego de veículos e pedestres, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias principais (C1)

Classificação do tráfego		$E_{MED.MIN}$	U_{MIN}
Veículos	Pedestres		
Leve	Leve	2	0,2
	Médio	5	0,2
	Intenso	10	0,2
Médio	Leve	5	0,2
	Médio	8	0,2
	Intenso	12	0,2
Intenso	Leve	10	0,2
	Médio	12	0,2
	Intenso	16	0,25

4.5.6 Vias normais

Para as vias normais (C2), os valores mínimos de iluminância e uniformidade são definidos em função do tráfego de veículos e pedestres, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para vias normais (C2)

Classificação do tráfego		$E_{MED.MIN}$	U_{MIN}
Veículos	Pedestres		
Leve	Leve	2	0,2
	Médio	5	0,2
	Intenso	8	0,2
Médio	Leve	5	0,2
	Médio	8	0,2
	Intenso	10	0,2

4.5.7 Vias secundárias

Para as vias secundárias (C3), os valores mínimos de iluminância e uniformidade são definidos em função do tráfego de veículos e pedestres, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Valores mínimos de iluminância e uniformidade para secundárias (C3)

Classificação do tráfego		$E_{MED.MIN}$	U_{MIN}
Veículos	Pedestres		
Leve	Leve	2	0,25
	Médio	5	0,25
	Intenso	10	0,25
Médio	Leve	5	0,2
	Médio	10	0,2
	Intenso	14	0,2

4.5.8 Vias irregulares

Para as vias irregulares (C4), independente do volume de tráfego, o valor de iluminância média mínima ($E_{MED.MIN}$) deve ser igual a 2 lux.

O valor de uniformidade mínimo (U_{MIN}) não é fixado.

4.5.9 Vias especiais

As vias especiais (D), devem atender os seguintes requisitos:

$$E_{MED.MIN} = 10 \text{ lux}$$

$$U_{MIN} = 0,2$$

5 LÂMPADAS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Das fontes de luz artificial, as lâmpadas elétricas são as que apresentam maior eficiência e oferecem possibilidades ilimitadas de obter ambientes acolhedores e confortáveis (CAVALIN; CERVELIN, 2008).

As lâmpadas elétricas podem ser classificadas quanto à forma de emissão de luz em:

- a) Lâmpadas incandescentes
- b) Lâmpadas de descarga
- c) Lâmpadas de estado sólido

As lâmpadas de estado sólido referem-se à nova tecnologia LED (Light Emission Diode) que vem sendo desenvolvida e aplicada em crescente escala, seja em decoração, iluminação de interiores e iluminação pública.

Já as lâmpadas incandescentes não são mais utilizadas em iluminação pública devido a sua baixa eficiência, vida relativamente curta e alta sensibilidade a tensões acima da nominal.

5.1 Características de uma lâmpada

Para a escolha do tipo de lâmpada mais adequado para uma aplicação, é importante observar alguns parâmetros como:

- a) Vida útil
- b) Fator de depreciação
- c) Temperatura de cor
- d) Índice de reprodução de cores
- e) Rendimento luminoso

5.1.1 Vida útil

A vida útil, definida em horas, é o tempo até que a lâmpada sofra redução de 25% do seu fluxo luminoso.

5.1.2 Fator de depreciação

Os sistemas de iluminação estão sujeitos a uma depreciação do nível de iluminância ao longo do tempo. Este efeito é decorrente da própria depreciação normal do fluxo luminoso da lâmpada e devido ao acúmulo de poeira sobre o conjunto lâmpada e luminária. Para compensar esse efeito, um fator de depreciação deve ser considerado nos projetos de iluminação, a fim de preservar a iluminância média projetada para o ambiente.

5.1.3 Temperatura de cor

A temperatura de cor expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz. A sua unidade de medida é o kelvin (K). Dessa forma, classificam-se as lâmpadas como fontes de luz quente ou luz fria, o que não se refere ao calor físico da lâmpada, mas sim à tonalidade de cor que ela apresenta ao ambiente. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz.

5.1.4 Índice de reprodução de cores

O índice de reprodução de cores representa a fidelidade com que as cores dos objetos são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz.

É medido numa escala de zero a cem, e quanto maior for este índice, melhor serão percebidos os detalhes dos objetos.

5.1.5 Rendimento luminoso

Rendimento luminoso ou eficiência luminosa é um indicador de eficiência utilizado para avaliar o rendimento da conversão de energia elétrica em luz por uma determinada fonte luminosa. Dessa forma, é medido em lúmen por watt, ou simplesmente lm/W e quanto maior este índice, melhor o rendimento da lâmpada.

5.2 Lâmpadas de descarga

Os principais tipos de lâmpadas utilizados em iluminação pública são lâmpadas de descarga. Ao contrário das lâmpadas incandescentes que emitem luz a partir do aquecimento de um filamento, as lâmpadas de descarga produzem luz a partir de uma contínua descarga elétrica num gás ou vapor ionizado, contidos dentro do tubo da lâmpada. A seguir serão detalhadas as principais lâmpadas de descarga.

5.2.1 Lâmpadas a vapor de mercúrio à alta pressão

São constituídas de um tubo de descarga, fabricado de quartzo, que suporta altas temperaturas. Em cada extremidade do tubo de descarga está instalado um eletrodo principal e em uma das extremidades há um eletrodo auxiliar, também chamado de eletrodo de partida, todos ligados em série com uma resistência de valor elevado, conforme ilustra a Figura 6.

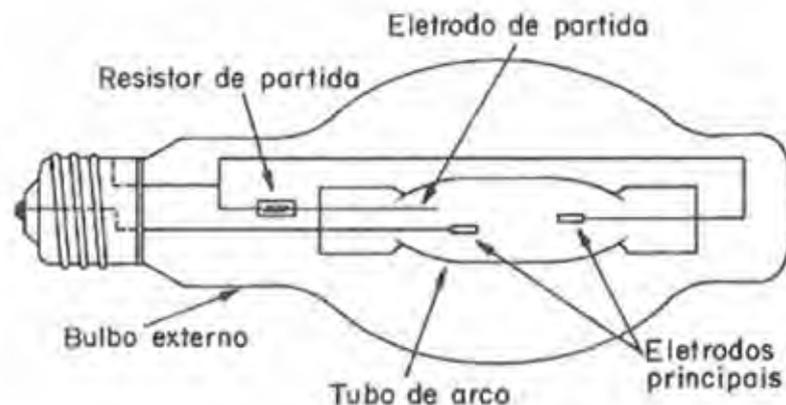


Figura 6 – Componentes de uma lâmpada a vapor de mercúrio à alta pressão (MOREIRA, 1999).

Dentro do tubo são colocadas algumas gotas de mercúrio, juntamente com o gás inerte argônio, cuja função é facilitar a formação da descarga inicial. O mercúrio é vaporizado durante o aquecimento da lâmpada. O tubo de quartzo é inserido dentro de um bulbo de vidro contendo azoto cuja finalidade é a distribuição uniforme da temperatura.

Seu funcionamento depende de um reator e apresenta eficiência de até 55 lm/W. Produz luz branca com índice de reprodução de cores na faixa de 45%. Apresenta alta depreciação ao longo da vida útil, chegando a oferecer em média 15.000 horas de vida. São fabricadas com

potências que variam de 100 a 1000 watts. A Figura 7 ilustra uma lâmpada a vapor de mercúrio à alta pressão.



Figura 7 – Lâmpada a vapor de mercúrio à alta pressão (OSRAM, 2010).

5.2.2 Lâmpadas mistas

As lâmpadas mistas combinam a eficiência das lâmpadas a vapor de mercúrio com as favoráveis propriedades de cor das fontes de luz com filamento de tungstênio (CREDER, 2007). Não necessitam de equipamentos auxiliares para seu funcionamento, podendo ser alojadas em luminárias próprias para lâmpadas incandescentes.

É composta por um tubo de descarga a vapor de mercúrio, conectado em série a um filamento de tungstênio, ambos encapsulados por um bulbo ovóide, com as paredes internas recobertas de fosfato de ítrio vanadato. O filamento atua como fonte de luz quente, ao mesmo tempo em que funciona como limitador de corrente. A figura 8 ilustra os principais componentes de uma lâmpada mista.

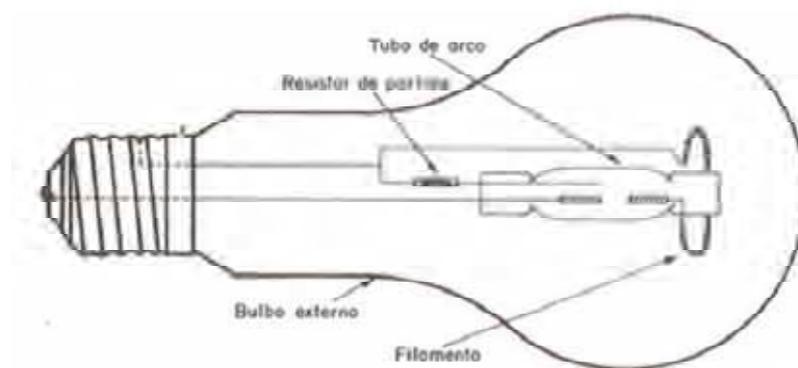


Figura 8 – Componentes de uma lâmpada mista (MOREIRA, 1999)

O tubo é montado dentro de um bulbo contendo uma camada de fósforo, cuja função é converter a radiação ultravioleta gerada pela descarga em radiação visível, melhorando a qualidade da luz emitida pela lâmpada.

Devido às características construtivas, é disponível apenas para tensão de 220 volts. Apresenta baixa eficiência, menor que 28 lm/W, deixando de ser viável quando comparada às demais lâmpadas de descarga. Possui vida útil de aproximadamente 8.000 horas. São comercializadas nas potências de 160 a 500 watts. A Figura 9 ilustra uma lâmpada mista.



Figura 9 – Lâmpada mista (OSRAM, 2010).

5.2.3 Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão

São construídas a partir de um tubo de descarga contendo sódio que vaporiza durante o acendimento. É utilizado um gás inerte em alta pressão, o xenônio, para facilitar a ignição da lâmpada. O tubo de descarga é montado dentro de um bulbo fabricado de vidro. Na região entre os dois há vácuo, reduzindo o efeito da perda de calor para o meio externo e, também, possibilitando o aumento da pressão no tubo de descarga, chegando a aproximadamente 0,26 atm. A Figura 10 ilustra uma lâmpada a vapor de sódio a alta pressão com bulbo tubular.

O tubo de descarga é fabricado com óxido de alumínio sintetizado, um material cerâmico com elevado ponto de fusão, cerca de 2050° C, pois em pleno funcionamento a temperatura no tubo de descarga pode chegar a 700° C.

O fluxo luminoso final resulta em um espectro contínuo de cor branco-dourada, com um índice de reprodução de cores entre 20 e 39. Os modelos com bulbo em formato ovóide possuem uma camada para correção de cor.

Apresentam uma vida útil entre 16.000 e 32.000 horas, dependendo da potência e da tecnologia da lâmpada. Sua eficiência luminosa é alta, podendo chegar a 150 lm/W.



Figura 10 – Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão com bulbo tubular (OSRAM, 2010).

5.3 Lâmpadas de estado sólido - LED

O LED, do inglês Light Emission Diode ou diodo emissor de luz, é um dispositivo eletrônico semiconductor e quando polarizado diretamente emite luz visível.

Como não possui filamento nem eletrodos para ignição, o LED perde menos energia com aquecimento, sendo capaz de produzir mais luz visível. Isto o torna mais eficiente, com um maior rendimento em lúmen por watt consumido.

Os LED's são fabricados de material sólido, são menores, mais versáteis e menos vulneráveis que as lâmpadas de vidro que contêm gases. Para aplicação em iluminação pública existe o HB-LED, do inglês High Brightness ou LED de alto brilho, ilustrado na Figura 11.

O HB-LED é capaz de gerar grande quantidade de luz sendo fabricado em potências que variam de 1W a 5W, apresentando alta durabilidade em torno de 50.000 horas.



Figura 11 – LED de alto brilho (KINGBRIGHT, 2008)

As luminárias a LED's são formadas por um conjunto de LED's, sendo a quantidade e tipo de LED determinados pelo projetista de acordo com a aplicação da luminária. Para obtenção de um melhor rendimento, utiliza-se lentes com o objetivo de direcionar, concentrar e melhor distribuir o fluxo luminoso. A Figura 12 ilustra uma luminária a LED.



Figura 12 – Luminária a LED (EXPORLUX, 2008)

Devido ao baixo consumo, em algumas cidades da China, Estados Unidos e Holanda, as lâmpadas a LED de alta potência estão sendo utilizadas na iluminação pública através de um sistema de alimentação solar, onde cada poste contém uma placa de captação solar e uma bateria para armazenamento, conforme ilustra a Figura 13.



Figura 13 – Luminária a LED com alimentação solar (ENERGY2AFRICA, 2009)

5.4 Comparativo entre lâmpadas

A Tabela 10 indica as principais características das lâmpadas utilizadas em iluminação pública.

Tabela 10 – Principais características das lâmpadas em iluminação pública

	Mercúrio Alta Pressão	Sódio Alta Pressão	Mista	LED
Eficiência luminosa (lm/W)	55	150	28	65
Temperatura de cor (K)	4000	2000	4100	3000
Índice de reprodução de cores (%)	45	20	60	90
Vida útil (horas)	15000	32000	8000	50000

O Quadro 1 destaca as principais vantagens e desvantagens das lâmpadas.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das lâmpadas

Lâmpada	Vantagens	Desvantagens
Mercúrio à alta pressão	Boa eficiência luminosa.	Acendimento não instantâneo. Índice de reprodução de cores médio. Impressão de cor fria. Maior consumo se comparado ao de outras com mesmo fluxo luminoso.
Sódio à alta pressão	Ótima eficiência luminosa.	Acendimento não instantâneo. Baixo índice de reprodução de cores. Maior investimento inicial.
Mista	Não necessita de equipamentos auxiliares.	Baixa eficiência luminosa. Alto consumo de energia.
LED	Possui elevada resistência mecânica. Oferece cores mais exatas e mais vivas, aumentando a segurança ao fluxo do tráfego. Vida útil de longa duração.	Tecnologia recente. Alto custo de implementação.

6 LUMINÁRIAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A luminária é o equipamento que acomoda a lâmpada e, além disso, tem outros requisitos como:

- a) a otimização da distribuição espacial do fluxo luminoso produzido pela lâmpada;
- b) proteger a lâmpada contra ações externas (mecânicas, químicas, atmosféricas);
- c) proporcionar suporte e conexão elétrica;
- d) trocar calor com o ambiente.

As maioria das lâmpadas emitem luz em todas as direções. Por isso, para orientar o fluxo luminoso da direção desejada, as luminárias dispõem de recursos como refletores, refratores e/ou difusores.

6.1 Refletores

Refletor é o dispositivo que serve para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso de uma fonte através do fenômeno da reflexão. A superfície do refletor é classificada como especular, semi-especular ou difusa sendo usualmente fabricado de metal ou plástico. A Figura 14 ilustra um refletor de alumínio anodizado especular.



Figura 14 – Refletor de alumínio anodizado especular (REDFLEX, 2009)

6.2 Refratores

São dispositivos que modificam a distribuição do fluxo luminoso de uma fonte utilizando o fenômeno da transmitância. Em algumas luminárias, há a necessidade de uma cobertura transparente para bloquear a radiação ultravioleta ou mesmo para vedar a lâmpada contra insetos e poeira, e também impedindo que partes da lâmpada quebrada caiam da luminária. Embora provendo pequeno controle óptico, estas lâminas são referidas como lentes. A Figura 15 ilustra uma luminária com refrator em vidro boro-silicato.



Figura 15 – Luminária com refrator em vidro boro-silicato (METALLIGTH, 2001)

6.3 Difusores

Os difusores são elementos translúcidos, foscos ou leitosos, que têm a finalidade de diminuir a luminosidade da fonte de luz, reduzindo o ofuscamento provocado pela mesma. Podem ser placas de vidro fosco ou bacias de plástico, acrílico ou policarbonato. São utilizados também para aumentar-se a abertura de fecho de uma luminária. A Figura 16 destaca uma luminária com dois difusores semi-esféricos, moldados em acrílico leitoso



Figura 16 – Luminária com difusor leitoso em acrílico (DANTA-LUX, 2010)

6.4 Graus de proteção contra agentes exteriores

As luminárias são construídas para suportar determinadas condições de trabalho sob influência de agentes externos, como penetração de corpos estranhos, insetos, poeira água e resistência a determinados impactos. Estas características são definidas pelo Grau de Proteção IP (ingress protection) conforme IEC 529. Consta de 3 numerais, variando de 0 a 9, que definem em ordem consecutiva os graus de proteção das diversas partes do equipamento em relação à penetração de corpos, líquidos e sua mecânica, conforme indica a Tabela 11.

Tabela 11 – Graus de proteção: IPXXX (IEC 529)

X	1º numeral (sólidos)	2º numeral (líquidos)	3º numeral (mecânicos)
0	Não protegido	Não protegido	Não protegido
1	Acima de 50 mm	Água vertical	Choque 0,15 kg
2	Acima de 12,5 mm	Chuva de 15°	Choque 0,15 kg
3	Acima de 2,5 mm	Chuva de 60°	Choque 0,25 kg
4	Acima de 1,0 mm	Projeção de chuva	Choque 0,25 kg
5	Protegido ao pó	Jatos d'água	Choque 0,50 kg
6	Estanque ao pó	Ondas do mar	Choque 0,50 kg
7		Imersão n'água	Choque 1,50 kg
8		Submersão n'água	Choque 1,50 kg
9			Choque 5,00 kg

No entanto, é usual classificar as luminárias apenas com os dois primeiros numerais, ou seja, quanto à penetração de sólidos e líquidos.

6.5 Classificação quanto ao fluxo luminoso

A correta distribuição do fluxo luminoso das luminárias é um dos fatores essenciais para a iluminação pública eficiente, sendo classificada de acordo com três critérios:

- a) Distribuição longitudinal (em plano vertical)
- b) Distribuição lateral
- c) Controle da distribuição (acima do ângulo de intensidade máxima)

A classificação da distribuição de intensidade luminosa é feita tendo-se em vista um diagrama de isocandela, sobreposto a um sistema de coordenadas de linhas longitudinais da via (LLV), e linhas transversais da via (LTV), ambas traçadas em relação à altura de montagem (h). A Figura 17 ilustra as distribuições longitudinal e lateral.

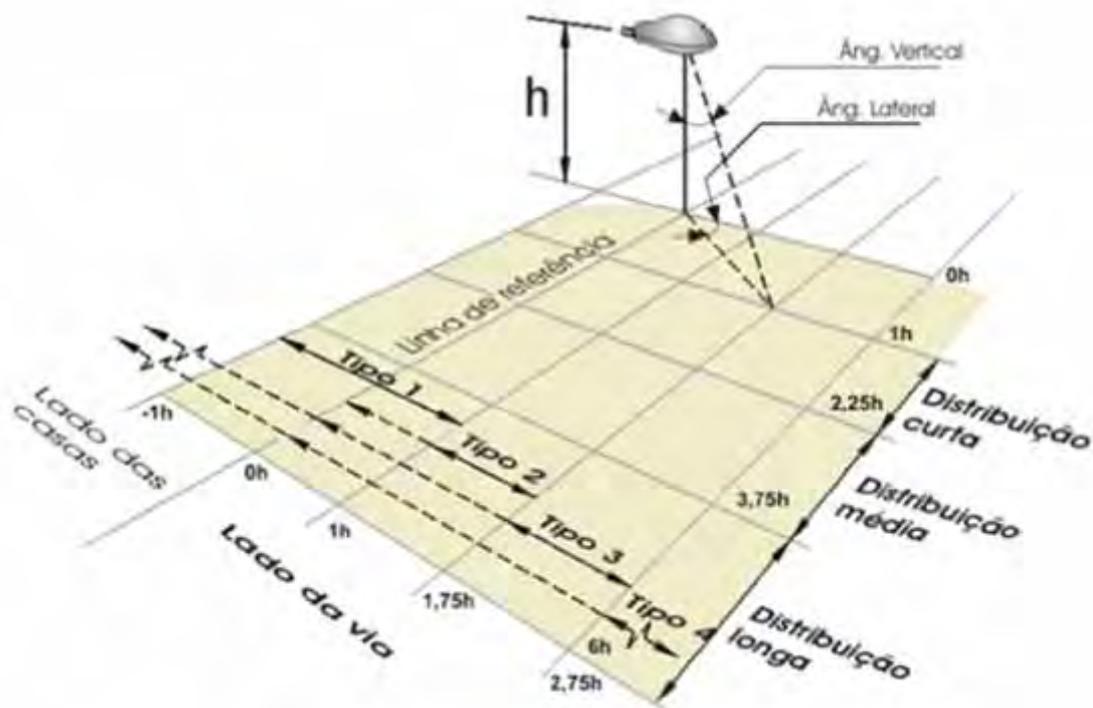


Figura 17 – Classificação das luminárias quanto à distribuição (MOREIRA, 1999)

6.5.1 Distribuição longitudinal vertical

A distribuição longitudinal vertical divide-se em três grupos: curta, média e longa.

- Distribuição Curta: quando o ponto de máxima intensidade luminosa está localizado entre $1h$ LTV e $2,25h$ LTV.
- Distribuição Média: quando o ponto de máxima intensidade luminosa está localizado entre $2,25h$ LTV e $3,75h$ LTV.
- Distribuição Longa: quando o ponto de máxima intensidade luminosa está localizado entre $3,75h$ LTV e $6h$ LTV.

6.5.2 Distribuição lateral

A distribuição lateral, também chamada de distribuição transversal, divide-se em quatro grupos, numerados de 1 a 4.

- a) Tipo I: quando a linha de meia intensidade máxima não ultrapassa as linhas LLV 1h, tanto do lado da via quanto do lado das casas.
- b) Tipo II: quando a linha de meia intensidade máxima fica entre a LLV 1,75h e a linha de referência na área de um dos tipos de distribuição vertical (curta, média ou longa).
- c) Tipo III: quando a linha de meia intensidade máxima ultrapassa parcial ou totalmente a LLV 1,75h, mas não ultrapassa a LLV 2,75h, na área dos três tipos de distribuição vertical.
- d) Tipo IV: quando parte da linha de meia intensidade máxima ultrapassa parcial ou totalmente a LLV 2,75h.

6.5.3 Controle de distribuição

A iluminância na pista geralmente aumenta com o crescimento do ângulo vertical de emissão luminosa, mas o mesmo ocorre com o ofuscamento. Então, são necessários diferentes graus de controle da intensidade luminosa na parte superior acima da máxima intensidade do fluxo luminoso. Divide-se em três categorias:

- a) Distribuição limitada: a intensidade luminosa acima da LTV limitante não ultrapassa (numericamente) 10% do fluxo luminoso nominal da lâmpada empregada. As LTV limitantes para efeito de ofuscamento são:
 - distribuição curta: 3,75h;
 - distribuição média: 6,0h;
 - distribuição longa: 8,0h;
- b) Distribuição semi-limitada: a intensidade luminosa acima da LVT limitante situa-se (numericamente) entre 10% e 30% do fluxo luminoso nominal da lâmpada empregada.
- c) Distribuição não-limitada: a intensidade luminosa acima da LVT limitante excede numericamente 30% do fluxo luminoso nominal da lâmpada empregada.

6.6 Altura de montagem

A correta altura de montagem dependerá do grau de deslumbramento obtido. Por este motivo, as luminárias deverão ser montadas a uma altura mínima, de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Alturas mínimas de montagem recomendadas

Intensidade luminosa máxima emitida pela luminária (cd)	Altura mínima recomendada(m)		
	Tipo de distribuição da luminária		
	Limitada	Semi-limitada	Não limitada
Até 5.000	6,0	6,5	7,5
De 5.000 a 10.000	6,5	7,5	9,0
De 10.000 a 15.000	7,5	9,0	10,5
Acima de 15.000	9,0	10,5	12,0

6.7 Disposição de luminárias

As principais disposições dos conjuntos de iluminação (poste/luminária) utilizadas em iluminação pública são: unilateral, bilateral alternada, bilateral frente a frente e canteiro central.

6.7.1 Disposição unilateral

A disposição unilateral é recomendada quando a largura da via for inferior ou igual a 10 metros. Em geral, é normalmente utilizado devido à possibilidade de se instalar as luminárias nos postes de distribuição de energia. A Figura 18 ilustra a disposição unilateral.

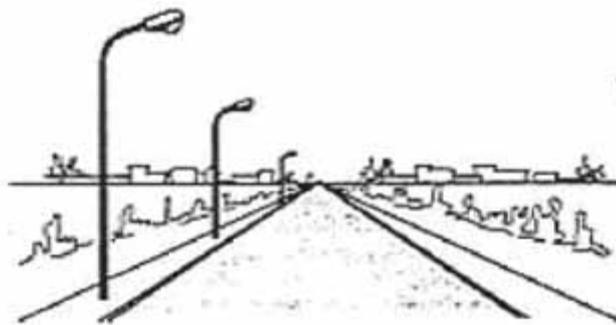


Figura 18 – Disposição unilateral de luminárias (VOLTIMUM, 2002)

6.7.2 Disposição bilateral alternada

A disposição bilateral alternada, conforme ilustra a Figura 19, é indicada quando a largura da via estiver compreendida entre 10 e 13 metros ou, excepcionalmente, em vias com

grande movimento. Esta disposição possibilita obter um espaçamento e distribuição com um menor número de postes.



Figura 19 – Disposição bilateral alternada de luminárias (VOLTIMUM, 2002)

6.7.3 Disposição bilateral frente a frente

A disposição bilateral frente a frente, conforme ilustra a Figura 20, é recomendada quando a largura da via for superior a 13 metros ou, excepcionalmente, em vias com grande movimento.

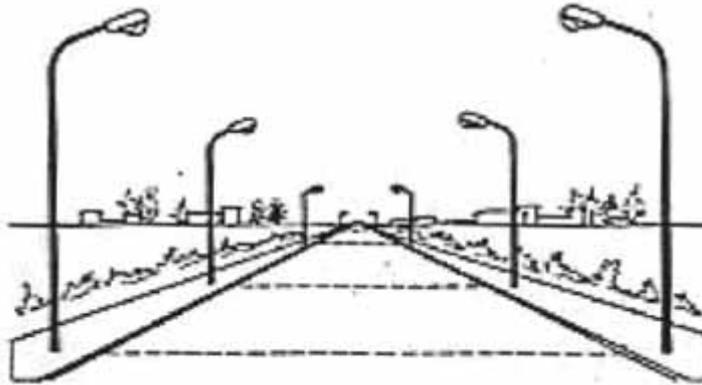


Figura 20 – Disposição bilateral frente a frente (VOLTIMUM, 2002)

6.7.4 Disposição em canteiro central

A disposição em canteiro central, com duas luminárias instaladas num mesmo poste, é indicada para vias com canteiro central estreito. É mais utilizada em vias com acostamento e

com duas ou mais faixas de rolamento nos dois sentidos, garantindo a correta iluminação da via. A Figura 21 ilustra a disposição em canteiro central.



Figura 21 – Disposição em canteiro central (VOLTIMUM, 2002)

7 CUSTOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Este capítulo analisará os impactos econômicos acarretados por um acidente de trânsito, obtendo um custo médio por acidente, de acordo com a sua gravidade.

Os dados apresentados são resultados do estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) juntamente com o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), publicado em 2005 e intitulado “Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras”. Esta pesquisa foi realizada entre o segundo semestre de 2004 e primeiro semestre de 2005 e utilizou, dentre outros, o banco de dados da Polícia Rodoviária Federal para determinação do custo médio de um acidente de trânsito em rodovias federais.

7.1 Acidentes de trânsito

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), um acidente é um evento independente do desejo do homem, causado por uma força externa, alheia, que atua subitamente (de forma inesperada) e deixa ferimentos no corpo e na mente.

Alternativamente, pode-se considerar um acidente um evento não intencional que produz ferimentos ou danos.

Acidente de trânsito é todo acidente com veículo ocorrido na via pública.

Os acidentes de trânsito constituem-se num grave problema social de desperdício de recursos materiais e, sobretudo humanos, ceifando anualmente um milhão de vidas no mundo inteiro.

Segundo estudo desenvolvido pelo IPEA juntamente com o DENATRAN, os gastos com acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras consomem cerca de 1,2% do PIB por ano, aproximadamente R\$22 bilhões, a preços de dezembro de 2005. Deste montante, cerca de R\$6,5 bilhões foi o custo estimado com acidentes em rodovias federais.

7.2 Custos envolvidos em um acidente trânsito

A função de custos definida para estimativa dos impactos econômicos dos acidentes nas rodovias brasileiras é composta de quatro grupos de componentes de custos relativos:

- às pessoas: feridos, mortos e pessoas sem ferimento algum que venham a participar do acidente;
- aos veículos: parcial ou totalmente destruídos; com pequenos problemas ou, ainda, sem dano algum;
- à via e ao ambiente onde ocorre o acidente: mobiliário, bens e propriedades públicas e privadas, além da via e seus equipamentos complementares, bem como as condições climáticas, iluminação, vegetação e tudo o mais que compõe o ambiente;
- ao envolvimento de instituições públicas com o acidente: legislação, fiscalização e gestão da circulação de bens e pessoas e administração da via e de seu entorno, seja pelo seu atendimento direto ou outras atividades decorrentes do acidente como processos judiciais, por exemplo.

7.2.1 Custos associado às pessoas ($C_{PESSOAS}$)

Os custos associado às pessoas ($C_{PESSOAS}$) correspondem à soma dos custos incorridos para cada pessoa envolvida no acidente. O custo total associado às pessoas é o somatório dos custos sobre: atendimento pré-hospitalar, atendimento hospitalar, pós-hospitalar, perda da produção, remoção/translado e gasto previdenciário, conforme detalhados a seguir:

- Custo do atendimento pré-hospitalar ($C_{PRÉ-HOSPITALAR}$): despesa para atendimento da vítima por unidades dotadas de equipamentos especiais, com veículos e profissionais especializados (ambulâncias, bombeiros, médicos, etc.).
- Custo do atendimento hospitalar ($C_{HOSPITALAR}$): soma dos custos do atendimento médico hospitalar do paciente não internado e do paciente internado na Unidade de Terapia Intensiva e/ou Enfermaria.
- Custo pós-hospitalar ($C_{PÓS-HOSPITALAR}$): soma dos custos com reabilitação, para os casos de seqüela temporária ou definitiva, com procedimentos, medicamentos, transporte, equipamentos e outros.

- Custo da perda de produção ($C_{\text{PERDA DE PRODUÇÃO}}$): é o custo correspondente às perdas econômicas das vítimas de acidente que, em decorrência da interrupção das suas atividades produtivas, deixam de gerar renda e produção ao sistema econômico.
- Custo de remoção/translado ($C_{\text{REMOÇÃO/TRANSLADO}}$): custo de remoção da vítima fatal ao Instituto Médico Legal (IML); e custo de traslado (terrestre ou aéreo) da vítima fatal do IML/hospital ao local do funeral.
- Gasto previdenciário: soma dos custos incorridos:
 - a) à empresa: relativos ao valor da previdência, pago por ela, em um período de até 15 dias de afastamento do trabalho em decorrência de um acidente de trânsito;
 - b) sobre a previdência social, em virtude do afastamento, temporário ou definitivo, do trabalhador em decorrência de um acidente de trânsito; e
 - c) sobre as seguradoras – seguro DPVAT (Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre).

7.2.2 Custos associados aos veículos ($C_{\text{VEÍCULOS}}$)

Os custos associados aos veículos ($C_{\text{VEÍCULOS}}$) correspondem à soma dos custos incorridos sobre: danos materiais aos veículos, perda de carga, remoção/pátio e reposição, conforme as definições que seguem:

- Custo dos danos materiais aos veículos ($C_{\text{DANOS MATERIAIS AOS VEÍCULOS}}$): custo de recuperação dos veículos danificados em acidentes de trânsito.
- Custo de perda de carga ($C_{\text{PERDA DE CARGA}}$): custo de avaria da carga que estava no veículo envolvido em acidente.
- Custo de remoção/pátio ($C_{\text{REMOÇÃO/PÁTIO}}$): custo de remoção do veículo e diárias de pátio de armazenamento.
- Custo de reposição ($C_{\text{REPOSIÇÃO}}$): despesa incorrida pela substituição do veículo, no período em que ele ficou sem condições de uso.

7.2.3 Custos institucionais ($C_{\text{INSTITUCIONAIS}}$)

Os custos institucionais ($C_{\text{INSTITUCIONAIS}}$) são o somatório das despesas com o atendimento policial e processos judiciais.

- Custo de processos judiciais ($C_{\text{JUDICIAIS}}$): custo do funcionamento da estrutura judicial em função do atendimento às questões referentes aos acidentes de trânsito.
- Custo do atendimento policial ($C_{\text{ATENDIMENTO}}$): soma dos custos do tempo dos policiais rodoviários, da utilização de veículos para atendimento no local do acidente e do deslocamento para hospital ou delegacia.

7.2.4 Custos associados à via e ao ambiente do local de acidente ($C_{\text{VIA/AMBIENTE}}$)

Os custos associados à via e ao ambiente do local de acidente ($C_{\text{VIA/AMBIENTE}}$) são custos referentes dos danos à propriedade pública e privada.

- Custo dos danos à propriedade pública ($C_{\text{DANOS À PROPRIEDADE PÚBLICA}}$): custo de reposição/recuperação de mobiliário ou equipamentos danificados ou destruídos em função de acidentes nas rodovias.
- Custo dos danos à propriedade privada ($C_{\text{DANOS À PROPRIEDADE PRIVADA}}$): custo de recuperação de propriedades particulares danificadas em função de acidentes de trânsito.

7.2.5 Custos não mensuráveis

Custos não mensuráveis são custos decorrentes das perdas de vida ou de lesões permanentes que impossibilitam uma vida normal, que incidem tanto sobre os envolvidos nos acidentes quanto sobre as pessoas de suas relações. Esses custos são impossíveis de mensurar; mas, quando existem, na maioria das vezes, superam os demais.

Como são imensuráveis, não serão considerados cálculo do custo de um acidente. No entanto, não se deve perder de vista o fato de que os custos aqui encontrados são sempre menores do que os custos realmente incorridos.

7.3 Função de custos dos acidentes

A função global dos custos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras ficou definida como segue:

$$C_{\text{ACIDENTE}} = C_{\text{PESSOAS}} + C_{\text{VEÍCULOS}} + C_{\text{VIA/AMBIENTE}} + C_{\text{INSTITUCIONAIS}}$$

Onde:

$$C_{\text{PESSOAS}} = C_{\text{PRÉ-HOSPITALAR}} + C_{\text{HOSPITALAR}} + C_{\text{PÓS-HOSPITALAR}} + C_{\text{PERDA DE PRODUÇÃO}} + C_{\text{REMOÇÃO/TRANSLADO}}$$

$$C_{\text{VEÍCULOS}} = C_{\text{DANOS MATERIAIS AO VEÍCULO}} + C_{\text{PERDA DE CARGA}} + C_{\text{REMOÇÃO/PÁTIO}} + C_{\text{REPOSIÇÃO}}$$

$$C_{\text{VIA/AMBIENTE}} = C_{\text{DANOS À PROPRIEDADE PÚBLICA}} + C_{\text{DANOS À PROPRIEDADE PRIVADA}}$$

$$C_{\text{INSTITUCIONAIS}} = C_{\text{JUDICIAIS}} + C_{\text{ATENDIMENTO}}$$

7.4 Custos dos acidentes de trânsito em rodovias federais

A metodologia utilizada para mensurar os custos aproximados de cada acidente de trânsito é bastante complexa e engloba vários níveis de decomposição dos acidentes em componentes elementares de custo. De forma simplificada, consiste no desmembramento dos acidentes de acordo com a sua gravidade, em acidentes sem vítima, com vítima e com fatalidade. O custo estimado dos acidentes em rodovias federais no período amostrado ficou em torno de 6,5 bilhões de reais, a preços de dezembro de 2005, com 3,7% de erro para mais ou para menos. No período analisado, de 1º de julho de 2004 até 30 de junho de 2005, foram registrados 110.600 acidentes. A Tabela 13 distribui estes acidentes dividindo-os por gravidade, bem como o custo aproximado para cada tipo de acidente.

Tabela 13 – Custos dos acidentes por gravidade, em rodovias federais

Nível de gravidade do acidente	Número de casos	Custo total (R\$)	%	Custo médio (R\$)
Sem vítima	68.423	1.152.269.508,00	17,7	16.840,00
Com vítima	36.966	3.180.258.879,00	48,8	86.032,00
Com fatalidade	5.210	2.179.556.664,00	33,5	418.341,00

Os custos por pessoas, veículos e outros, segundo os componentes primários de decomposição, encontram-se distribuídos na Tabela 14.

Tabela 14 – Custo total por componente primário

Componente primário do custo	%	Custo (R\$)
Associados às pessoas	68,45	4.457.803.796,00
Associados aos veículos	31,09	2.024.907.570,00
Outros (associados à via/ambiente/instituições)	0,45	24.373.684,00

Com os dados da Tabela 15 é possível verificar o quanto os custos relativos às pessoas (perda de produção, remoção/translado do morto e atendimento pré-hospitalar, hospitalar e pós-hospitalar) foram superiores aos custos relativos aos veículos (remoção/dias parado no pátio, danos ao veículo e perda de carga) e aos outros custos (atendimento ao acidente e danos à propriedade pública e privada).

Considerando os custos por pessoa, de acordo com a gravidade, têm-se a implicação média no custo total do acidente de acordo com a Tabela 15.

Tabela 15 – Implicação média no custo total do acidente, associada a cada pessoa envolvida

Condição da pessoa envolvida (gravidade da lesão)	Custos médios associados à pessoa (R\$)
Ileso	1.040,00
Ferido	36.305,00
Morto	281.216,00

Para cada veículo envolvido em acidente de trânsito, o custo médio associado é da ordem de R\$12.200,00.

8 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo são apresentados quatro trechos de rodovias federais que receberam iluminação. Considerando a data aproximada da inauguração, realizou-se um comparativo de dados em períodos semelhantes antes e após o início da iluminação. Os parâmetros analisados foram o número total de acidentes, número de veículos envolvidos, número de pessoas ilesas, feridas e mortas.

Por razões de sigilo de dados e preservação de direitos, as rodovias não terão suas nomenclaturas divulgadas e nem a localidade exata.

Os valores informados foram obtidos a partir do banco de dados da Polícia Rodoviária Federal.

8.1 Trecho 1

Este trecho em análise é um segmento de uma rodovia federal com duas faixas de rolamento em ambos os sentidos, apresentando iluminação disposta em canteiro central por 3,4 km, com postes de 15 metros de altura, luminárias duplas e espaçamento entre postes de 50 metros, conforme ilustrado pela Figura 22. No Anexo A está apresentado o cálculo luminotécnico deste trecho e o Anexo B exhibe o valor da execução desta obra.



Figura 22 – Trecho 1 (GOOGLE, 2011)

Este trecho teve a inauguração recente da iluminação, em outubro de 2010. Para uma análise contemplando períodos semelhantes, foram levantados os números de acidente de

aproximadamente cinco meses antes e cinco meses após a iluminação, ou seja, os acidentes no período de 1º de nov. de 2009 a 31 de mar. de 2010 e de 1º de nov. de 2010 a 31 de mar. de 2011. Os dados analisados estão compreendidos entre às 19h e 06h.

Nos períodos analisados foram levantados os números totais de acidentes, veículos envolvidos, pessoas ilesas, feridas e mortas. Os resultados estão representados na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 1

Período	Acidentes	Veículos	Ilesos	Feridos	Mortos
nov09/mar10	6	10	7	5	1
nov10/mar11	8	13	11	2	0

Analisando os dois períodos constata-se que apesar do aumento do número de acidentes e veículos envolvidos houve redução na gravidade, verificado pela redução de vítimas e fatalidade, expostos em forma percentual na Tabela 17.

Tabela 17 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação

Parâmetro	Alteração
Acidentes	acrécimo 33%
Veículos	acrécimo 30%
Ilesos	acrécimo 57%
Feridos	redução 40%
Mortos	redução a zero

A Tabela 18 demonstra as alterações citadas na Tabela 17 em forma de economia monetária aos cofres públicos, com base nos custos associados a um acidente de trânsito conforme explanado no Capítulo 7, em especial na Tabela 15. A economia negativa significa que os custos aumentaram e a economia positiva que os gastos diminuiram.

Tabela 18 – Economia aos cofres públicos após a iluminação

Parâmetro	Economia R\$
Veículos	- 24.400
Ilesos	- 4.160
Feridos	+ 108.915
Mortos	+ 281.216

Verifica-se que após a iluminação foi obtida uma economia de R\$361.571,00 com gastos em acidentes de trânsito. Lembrando que estes valores estão associados a preços de 2005, quando foi publicado o estudo do IPEA.

Como pode ser observado na Tabela 16, mesmo com o aumento do número de acidentes, houve a redução da gravidade, notado pela diminuição do número de vítimas e fatalidades, alcançando o objetivo máximo do Código de Trânsito brasileiro que é preservar vidas.

Considerando o custo de execução deste projeto de iluminação, expresso no Anexo B, e a economia gerada após a iluminação, é feita uma comparação simbólica entre esses montantes. Sabendo que foram investidos R\$436.575,36 para execução deste projeto de iluminação e com apenas 5 meses após a inauguração da iluminação obteve-se a economia de R\$361.571,00, fica notável que o valor investido tem uma taxa de amortização acelerada quando se considera os elementos de custo associados a um acidente de trânsito. Lembrando que a economia gerada pela redução de acidentes está associada a preços de 2005, quando foi publicado o estudo do IPEA, e o valor da execução da obra refere-se a preços de 2009. Como em apenas cinco meses obteve-se uma amortização de aproximadamente 82% do valor investido, considerou-se estes valores absolutos bastante satisfatórios e optou-se por não atualizar os valores a preços atuais de mercado, onde provavelmente a economia gerada seria ainda maior.

8.2 Trecho 2

Este trecho é um segmento de rodovia federal, com pista dupla em ambos os sentidos e com iluminação disposta em canteiro central por 3 km, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 23 – Trecho 2 (GOOGLE, 2011)

Nesta localidade a iluminação foi inaugurada em dezembro de 1992. Para uma análise contemplando períodos semelhantes, foram levantados os números de acidente de aproximadamente um ano antes e um ano após a iluminação, ou seja, os acidentes no período de 1º de jan. a 30 de nov. de 1992 e de 1º de jan. a 30 de nov. de 1993. Os dados analisados estão compreendidos entre às 19h e 06h.

Nos períodos analisados foram levantados os números totais de acidentes, veículos envolvidos, pessoas ilesas, feridas e mortas. Os resultados estão representados na Tabela 19.

Tabela 19 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 2

Período	Acidentes	Veículos	Ilesos	Feridos	Mortos
1992	129	254	231	41	13
1993	84	164	153	25	4

Analisando os dois períodos, pode-se constatar que houve redução em todos os parâmetros. A Tabela 20 destaca esta redução em forma percentual.

Tabela 20 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação

Parâmetro	Redução %
Acidentes	34,9
Veículos	35,4
Ilesos	33,8
Feridos	39
Mortos	69,2

Com base nos custos associados a um acidente de trânsito, explanado no capítulo 7, pode-se considerar esta redução percentual em forma de economia monetária, conforme ilustra a Tabela 21.

Tabela 21 – Economia monetária com a redução dos acidentes

Parâmetro	Economia R\$
Veículos	549.000
Ilesos	81.120
Feridos	580.880
Mortos	2.530.944

Desta forma, verifica-se que houve uma economia total de R\$ 3.741.944,00 com gastos em acidentes de trânsito após a inauguração da iluminação. Lembrando que estes valores estão associados a preços de 2005, quando foi publicado o estudo do IPEA.

Como pode ser observada nas Tabelas 20 e 21, a maior redução e, conseqüentemente, a maior economia gerada, foram obtidas com o decréscimo do número de mortes, justificando por si só o investimento no projeto e valorizando o objetivo máximo do Código de Trânsito brasileiro que é preservar vidas.

Considerando o custo aproximado para instalação de 1 km de iluminação em rodovia, expresso no Apêndice A, e pela similaridade do projeto apresentado no Anexo A com a iluminação deste trecho, que trata de poste disposto em canteiro central com duas luminárias, pode-se simbolicamente fazer uma comparação entre a economia gerada pela redução dos acidentes com o investimento em iluminação. Sabendo que após a iluminação a redução dos custos com acidentes gerou uma economia de R\$3.741.944,00 e que o valor de instalação por km de iluminação é de R\$128.404,60, então esta economia gerada poderia ser investida em aproximadamente 29,1 km de iluminação. Vale destacar que o trecho analisado é de apenas 3 km e que a economia gerada no primeiro ano subsequente à inauguração da iluminação poderia iluminar um trecho quase 10 vezes maior, ou seja, apresentou uma amortização muito rápida do investimento. Não se pode desprezar que a comparação está sendo feita com valores aplicados em anos diferentes, ou seja, a economia gerada pela redução de acidentes está associada a preços de 2005 e o custo aproximado para instalação de 1 km de iluminação com preços de 2009. Como os resultados absolutos se apresentaram bastante satisfatórios, optou-se por não atualizar os valores a preços atuais de mercado, onde provavelmente a economia gerada seria ainda maior.

8.3 Trecho 3

Este trecho é um segmento de rodovia federal, com pista duplicada e iluminação disposta em canteiro central com extensão de 7 km, conforme ilustra a Figura 24.



Figura 24 – Trecho 3 (MAXIMINO, 2009)

Este trecho recebeu a iluminação no ano de 2009. Para uma análise contemplando períodos semelhantes, foram levantados os números de acidente de um ano antes e um ano após a iluminação, ou seja, os acidentes no período de 1º de jan. a 31 de dez. de 2008 e de 1º de jan. a 31 de dez. de 2010. Os dados analisados estão compreendidos entre às 19h e 06h.

Nos períodos analisados foram levantados os números totais de acidentes, veículos envolvidos, pessoas ilesas, feridas e mortas. Os resultados estão representados na Tabela 22.

Tabela 22 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 3

Período	Acidentes	Veículos	Ilesos	Feridos	Mortos
2008	45	62	49	38	5
2010	13	18	16	16	2

Analisando os dois períodos, pode-se constatar que houve redução em todos os parâmetros, conforme destaca em termos percentuais a Tabela 23.

Tabela 23 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação

Parâmetro	Redução %
Acidentes	71,1
Veículos	70,9
Ilesos	67,3
Feridos	57,8
Mortos	60

A Tabela 24 fornece esta redução em forma de economia aos cofres públicos, com base nos custos associados a um acidente de trânsito conforme explanado no capítulo 7.

Tabela 24 – Economia aos cofres públicos após a iluminação

Parâmetro	Economia R\$
Veículos	390.400
Ilesos	45.670
Feridos	798.710
Mortos	843.648

Pode-se observar que após a iluminação foi gerada uma economia de R\$2.078.518,00 com custos associados a um acidente de trânsito. Considerando a similaridade deste projeto com o valor de execução apresentado no Apêndice A, que trata de poste disposto em canteiro central com duas luminárias, cujo valor aproximado para instalação de 1 km de iluminação

em rodovia é de R\$128.404,60, então esta economia gerada de R\$2.078.518,00 poderia ser investida em aproximadamente 16,1 km de iluminação. Observa-se que no intervalo de um ano a economia gerada seria suficiente para iluminar um trecho 2,3 vezes maior que o original, que é de 7 km, ficando evidente uma rápida amortização do investimento e apresentação de ótimos resultados, com grande redução em todos os parâmetros analisados, em especial nas reduções de feridos e mortos.

8.4 Trecho 4

Este trecho em análise é um segmento de rodovia federal, com pista dupla e acostamento e, em algumas partes, pista com três faixas de rolamento sem acostamento. Apresenta iluminação disposta em canteiro central por uma extensão de 10 km, ilustrada pela Figura 25.



Figura 25 – Trecho4 (ZARUR, 2010).

A iluminação nesta rodovia foi inaugurada em 2007. Para uma análise contemplando períodos semelhantes, foram levantados os números de acidente de um ano antes e um ano após a iluminação, ou seja, os acidentes no período de 1º de jan. a 31 de dez. de 2006 e de 1º de jan. a 31 de dez. de 2008. Os dados analisados estão compreendidos entre às 19h e 06h e apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 – Dados estatísticos dos acidentes ocorridos no Trecho 4

Período	Acidentes	Veículos	Ilesos	Feridos	Mortos
2006	115	192	144	102	9
2008	100	155	105	101	8

Analisando os dois períodos, pode-se constatar que houve redução em todos os parâmetros, conforme destaca a Tabela 26 em termos percentuais.

Tabela 26 – Alteração dos parâmetros analisados após a iluminação

Parâmetro	Redução %
Acidentes	13
Veículos	19,2
Ilesos	27,1
Feridos	1
Mortos	11

A Tabela 27 demonstra esta redução em forma de economia aos cofres públicos, com base nos custos associados a um acidente de trânsito conforme explanado no capítulo 7.

Tabela 27 – Economia aos cofres públicos após a iluminação

Parâmetro	Economia
Veículos	451.400
Ilesos	40.560
Feridos	36.305
Mortos	281.216

Observa-se que após a iluminação obteve-se uma economia total de R\$809.481,00 com custos associados a um acidente de trânsito. Considerando a similaridade deste projeto com o valor de execução apresentado no Apêndice A, que trata de poste disposto em canteiro central com duas luminárias, cujo valor aproximado para instalação de 1 km de iluminação em rodovia é de R\$128.404,60, então esta economia gerada de R\$809.481,00 poderia ser investida em aproximadamente 6,3 km de iluminação. Lembrando que a economia gerada pela redução de acidentes está associada a preços de 2005, quando foi publicado o estudo do IPEA, e o valor da execução da obra refere-se a preços de 2009.

9 CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho pode-se verificar que a iluminação de rodovias federais apresentou uma significativa redução do número de acidentes e, conseqüentemente, uma redução de mortos e feridos. Os resultados apresentados mostraram-se bastante satisfatórios, atingindo o objetivo máximo do Código de Trânsito Brasileiro que é preservar vidas e inclusive sendo verificada uma taxa de amortização bem acelerada quando comparado o valor investido no projeto de iluminação com a economia gerada pela diminuição dos custos associados a um acidente de trânsito.

De modo mais global, a redução de mortos e feridos diminui a necessidade de atendimento médico de urgência, reduzindo a necessidade de recursos médicos dispostos para socorro e/ou internação. Este fato representa maior disponibilidade de recursos e leitos em hospitais que recebem estas vítimas, podendo conjecturar que investir em iluminação também significa investir na saúde. Pensando assim, devem-se estudar parcerias entre governo federal, estadual e municipal para o fato que, apesar de parecer simples, a iluminação de rodovias beneficia também a população que não transita por ela. A iluminação de vias não significa somente garantir melhores condições de visibilidade e trafegabilidade aos condutores, mas a redução dos acidentes com vítimas acarreta na maior disponibilidade de recursos em hospitais que a população utiliza.

Conforme apresentado no Capítulo 2, um ambiente iluminado adequadamente diminui a fadiga e a perda de produção, sendo então esperada a redução de acidentes após a iluminação. No entanto, apesar dos índices apresentados serem bem favoráveis, seria equivocado associar a iluminação de rodovias como um único fator para o sucesso na redução de acidentes. A questão é mais complexa e engloba fatores comportamentais dos motoristas, onde com melhores condições de visibilidade e trafegabilidade podem adquirir mais confiança, abusar da velocidade e acabar se envolvendo em acidentes graves. A redução de acidentes será um sucesso quando vários fatores forem trabalhados juntos onde, além da iluminação, deve-se investir, sobretudo, na educação para o trânsito.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação pública**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.
- BRASIL. Departamento nacional de infraestrutura de transportes. **Custos de acidentes de trânsito nas rodovias federais**. Brasília: DNIT, 2004. 33 p.
- BRASIL. Instituto de pesquisa econômica aplicada. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Brasília: IPEA, 2006. 80 p.
- BRASIL. Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Lex: código de trânsito brasileiro**. Brasília, 81 p. 1997
- CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais**. 18 ed. São Paulo: Érica, 2008. 422 p.
- COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 569 p.
- COTRIM, Ademaro A. M. B. **Manual de instalações elétricas**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 434 p.
- CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 440 p.
- DANTA-LUX. **Linha decorativa**. Disponível em <<http://www.dantalux.com.br/site/>>. Acesso em: 05 set. 2010.
- ENERGY2AFRICA. **Solar lighting systems**. Disponível em: <<http://www.energy2africa.com/about-solar-lighting.php>>. Acesso em: 30 ago. 2010.
- EXPORLUX. **Products**. Disponível em: <<http://www.exporlux.pt/en/#/en/m24.products/>>. Acesso em: 29 ago. 2010.
- FOTOS de Paris. **Blog do Luis**. Disponível em <<http://www.luis.blog.br/fotos-de-paris-eiffel-louvre-paris-a-noite.aspx>>. Acesso em: 04 set. 2010.
- GOOGLE maps with street view. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 13 set. 2011.
- KINGBRIGTH. **High Brightness LED**. Disponível em: <<http://www.kingbrightusa.com>>. Acesso em: 30 ago. 2010.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 914 p.

MAXIMINO, Erivaldo. Zé Gomes vai pedir mil casas a Lula. **Folha de Notícias**. Itumbiara, 24 abr. 2009. Disponível em: <http://www.folhadenoticias.com.br/noticias/ver.php?noticias_id=1619&categoria>. Acesso em 20 set. 2011.

METALLIGHT. **Iluminação pública**. Disponível em: <<http://www.metalight.com.br/>>. Acesso em: 05 set. 2010.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. **Iluminação Elétrica**. São Paulo, Edgard Blücher, 1999. 1ª edição.

NISHIDA, Silvia Mitiko. Sentido da Visão. In ____. **Apostila do curso de fisiologia**. 2007. f. 85-100. Apostila do curso de fisiologia. Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/54547392/Sentido-Visao>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

OSRAM. **Lâmpadas de descarga em alta pressão**. Disponível em: <<http://br.osram.info/produtos/profissional/descarga/>>. Acesso em: 18 jul. 2010.

REDFLEX. **Luminárias públicas**. Disponível em: <<http://redflex.com.br/>>. Acesso em: 05 set. 2010.

VOLTIMUM. **Ordenamento da iluminação pública**. Disponível em: <<http://www.voltimum.pt/news/345/cm/ordenamento-da-iluminacao-publica.html>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

ZARUR, Whalles. BR 020: A que mais mata no DF. **DF em Pauta**. Brasília, 18 jan. 2010. Disponível em: <<http://dfempauta.wordpress.com/2010/01/18/br-020-a-que-mais-mata-no-df/>>. Acesso em: 13 set. 2011.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461: Iluminação**. Rio de Janeiro, 1991.

ARAÚJO, Iuri Ávila Lins de. **Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios no trópico úmido**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. Disponível em: < <http://www.ctec.ufal.br/>>. Acesso em: 13 jun. 2010.

BASTOS, Daniel Izique. **Estudo comparativo entre sistemas de iluminação pública**. 2008. 98 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2008.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica**. 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 566 p.

NEGRISOLI, Manoel Eduardo Miranda. **Instalações elétricas**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1987. 178p.

RODRIGUES, Carlos Roberto. **Análise da influência da iluminação pública de ruas nos acidentes de trânsito na cidade de Botucatu/SP**. 2007. 65 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança no Trabalho) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

APÊNDICE A – Custo aproximado para instalação de 1 km de iluminação

A partir do cálculo luminotécnico apresentado Anexo A e considerando o Anexo B, que exhibe o valor de execução desta obra, pode-se obter um valor aproximado para instalação de 1 km de iluminação em rodovia.

Como o cálculo luminotécnico prevê um espaçamento entre postes de 50 metros e uma distância de 3.400 metros a ser iluminada, então para este trecho serão instalados 68 postes com duas luminárias. Como a obra foi executada ao custo de R\$436.575,36, pode-se estimar o valor aproximado de R\$6.420,23 por poste com duas luminárias. Para a distância de 1 km, com 50 metros de espaçamento, então deverão ser instalados 20 postes, resultando no valor aproximado de R\$128.404,60 para a execução de 1 km de iluminação em rodovia. Lembrando que a característica do projeto prevê postes com 15 metros de altura, dispostos em canteiro central e com duas luminárias.

Deve-se destacar que estes valores foram empregados no ano de 2009.

ANEXO A – Cálculo Luminotécnico**CALCULO LUMINOTÉCNICO NA BR XXX NO KM XXX AO XXX**

ILUMINAÇÃO DO CANTEIRO CENTRAL COM POSTE DE AÇO RETO CONTINUO COM BASE, DE 15 METROS DE ALTURA, LUMINARIA COM LAMPADA VAPOR DE SODIO DE 250 WATTS

Partner for Contact: xxxxxxxxxxxxxx
Order No.:
Company:
Customer No.: xxxxxxxxxxxxxx

Date: 24.02.2008
Operator: xxxxxxxxxxxxxx

CALCULO LUMINOTÉCNICO

XXXXXX

24.02.2008

XXXX - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

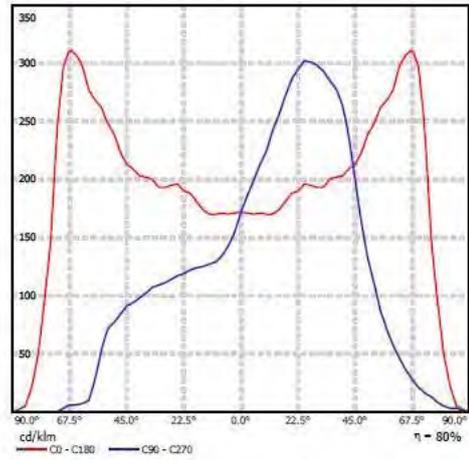
Operator XXXXXXXXXXXX
 Telephone XXXXXXXXXXXX
 Fax XXXXXXXXXXXX
 e-Mail XXXXXXXXXXXX

Philips TrafficVision SGS306 TP FG P9 1xSON-TPP250W / Luminaire Data Sheet

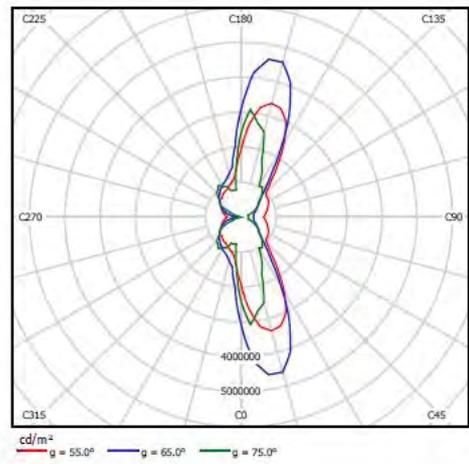


Luminaire classification according to CIE: 100
 CIE flux code: 40 76 97 100 80

Luminous emittance 1:



Luminous emittance 1:

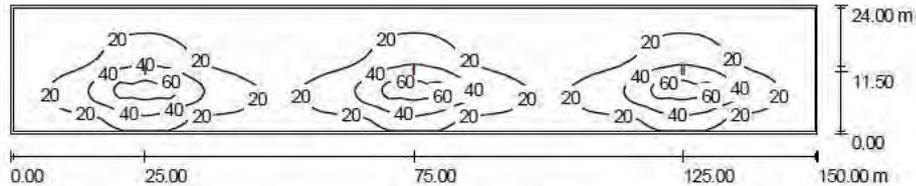


CALCULO LUMINOTÉCNICO

XXXXXX

24.02.2008

XXXX - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

 Operator XXXXXXXXXXXX
 Telephone XXXXXXXXXXXX
 Fax XXXXXXXXXXXX
 e-Mail XXXXXXXXXXXX
Raum / Summary

Height of Room: 12.900 m, Mounting Height: 12.900 m, Maintenance factor: 0.57

Values in Lux, Scale 1:1073

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$
Workplane	/	21	2.14	66	0.10
Floor	5	20	2.11	59	0.11
Ceiling	5	0.67	0.29	1.03	0.44
Walls (4)	5	4.88	0.21	21	/

Workplane:
 Height: 0.750 m
 Grid: 128 x 128 Points
 Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.222, Ceiling / Working Plane: 0.032.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	6	Philips TrafficVision SGS306 TP FG P9 1xSON-TPP250W (1.000)	33200	276.0
Total:			199200	1656.0

Specific connected load: $0.46 \text{ W/m}^2 = 2.17 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Ground area: 3600.00 m^2)

CALCULO LUMINOTÉCNICO

XXXXXX

24.02.2008

XXXX - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

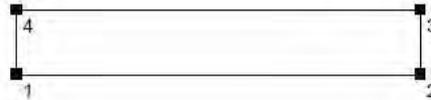
Operator XXXXXXXXXXXX
 Telephone XXXXXXXXXXXX
 Fax XXXXXXXXXXXX
 e-Mail XXXXXXXXXXXX

Raum / Input Protocol

Height of working plane: 0.750 m
 Boundary Zone: 0.500 m

Maintenance factor: 0.57

Height of Room: 12.900 m
 Ground area: 3600.00 m²



Surface	Rho [%]	from ([m] [m])	towards ([m] [m])	Length [m]
Floor	5	/	/	/
Ceiling	5	/	/	/
Wall 1	5	(0.000 0.000)	(150.000 0.000)	150.000
Wall 2	5	(150.000 0.000)	(150.000 24.000)	24.000
Wall 3	5	(150.000 24.000)	(0.000 24.000)	150.000
Wall 4	5	(0.000 24.000)	(0.000 0.000)	24.000

CALCULO LUMINOTÉCNICO

XXXXXX

24.02.2008

XXXX - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

 Operator XXXXXXXXXXXX
 Telephone XXXXXXXXXXXX
 Fax XXXXXXXXXXXX
 e-Mail XXXXXXXXXXXX
Raum / Luminaires (coordinates list)**Philips TrafficVision SGS306 TP FG P9 1xSON-TPP250W**

33200 lm, 276.0 W, 1 x 1 x SON-TPP250W (Correction Factor 1.000).



No.	Position [m]			Rotation [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	25.000	11.500	12.900	0.0	0.0	180.0
2	25.000	12.500	12.900	0.0	0.0	180.0
3	75.000	11.500	12.900	0.0	0.0	180.0
4	75.000	12.500	12.900	0.0	0.0	180.0
5	125.000	11.500	12.900	0.0	0.0	180.0
6	125.000	12.500	12.900	0.0	0.0	180.0

ANEXO B – Planilha com valores de execução

Lista de folhas reg.serviços										
Resíduo	Cód. Reg.	Forneced. Sme 1	Meça	Data doc.	Valor líquido pedido	Data de emissão	Meça	Data doc.	Valor líquido pedido	
FolhaRegisr	Códac	RegFlu	RegFlu	RegFlu	RegFlu	RegFlu	RegFlu	RegFlu	RegFlu	
450044196	0100	ELL	467410	XX00000000X	28.10.2008	28.10.2008	28.10.2008	28.10.2008	31.276,00	11.12.2009
30	8001		69.03	Demunçãõ	280.889,90	30.06.2010			31.284,24	19.01.2010
1000.34207	000		000						26.337,78	23.02.2010
1000.42205	000		000						48.232,98	16.09.2010
1000.47324	000		000						31.284,67	19.09.2010
1000.53175	000		000							
1000.55362	000		000							
450044196	0100	ELL	467410	XX00000000X	28.10.2008	28.10.2008	28.10.2008	28.10.2008	34.452,60	19.01.2010
40	8001		69.01	Demunçãõ	249.120,60	30.06.2010			38.201,00	23.02.2010
1000.46791	000		000						46.972,80	16.02.2010
1000.47323	000		000						48.090,30	19.09.2010
1000.53173	000		000						39.384,60	19.09.2010
1000.59102	000		000							
1000.65369	000		000							
450044196	0100	ELL	467410	XX00000000X	28.10.2008	28.10.2008	28.10.2008	28.10.2008	15.933,27	23.02.2010
50	8001		69.01	Mitimo 1	18.415,86	30.06.2010			510,26	16.09.2010
1000.47310	000		000						1.031,08	19.09.2010
1000.53172	000		000						1.718,25	19.09.2010
1000.59120	000		000							
1000.65363	000		000							
* Total									426.872,36	