

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da
Energia

ANÁLISE LEGAL DOS IMPACTOS
PROVOCADOS PELA POLUIÇÃO
LUMINOSA DO AMBIENTE

SAULO ROBERLY GARGAGLIONI

Itajubá, setembro de 2007.

Ministério da Educação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia da
Energia**

**ANÁLISE LEGAL DOS IMPACTOS
PROVOCADOS PELA POLUIÇÃO
LUMINOSA DO AMBIENTE URBANO**

SAULO ROBERLY GARGAGLIONI

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Ciências da Engenharia da Energia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Co-Orientador: Dr. Alberto Rodríguez Ardila

Itajubá, setembro de 2007.

G231a

Gargaglioni, Saulo Roberly

Análise legal dos impactos provocados pela poluição luminosa do ambiente / Saulo Roberly Gargaglioni. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2007. 106 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas.

Co-orientador: Prof. Dr. Alberto Rodriguez Ardila.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Poluição luminosa. 2. Uso racional da iluminação. 3. Eficiência energética. 4. Energia. 5. Meio ambiente. I. Dupas, Francisco Antônio, orient. II. Ardila, Alberto Rodriguez, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

CDU 620.9(043)

Dedicatória

Aos meus queridos e amados pais **Dário e Helena**, pelo amor, carinho, atenção e incentivo em todos os momentos de minha vida. A eles, toda a minha gratidão e respeito.

Às três mulheres de minha vida, **Karina, Giovana e Isabela**, por todo amor que sempre me trazem e pela compreensão e paciência em todos estes corridos anos de mestrado.

Agradecimentos

A **Deus** que me iluminou e deu forças para vencer os obstáculos encontrados no caminho. Obrigado pelas graças recebidas.

Ao orientador e amigo **Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas** pela oportunidade dada a minha pessoa, confiança, paciência e credibilidade. Muito obrigado por acreditar em mim.

Ao co-orientador **Dr. Alberto R. Ardila**, pelo apoio e ensinamentos.

Aos meus irmãos **Cris, Luci e Darinho**, pela força que me deram na realização deste trabalho, em especial à **Luci**, pela ajuda que tornou este estudo possível.

À **França**, sempre presente em minha vida, pelo carinho e atenção.

Aos meus queridos sogros **Benedito e Glória** pela amizade e carinho.

Ao meu grande amigo **Ronaldo Vasconcelos** pela ajuda, conselhos e amizade.

Aos amigos do **LNA** pelo apoio direto e indireto, em especial ao Diretor **Dr. Albert Bruch, Ricardo, Barnabé, Rodrigo, Chicão, Erli, Santoro, Chiquinho, Magno e José Ronaldo**.

Ao **Dr. Pierantonio Cinzano** (Itália), **Dr. Mario Di Sora** (Itália), **Dr. Malcolm Smith** (Chile), **Isabel Junquera** (Espanha), **Ivo Neves** (Ambiente&Qualidade), **Prof. Túlio J. dos Santos** (UFMG) e **Prof. Rodrigo Tarsia** (UFMG), pelo auxílio na discussão do trabalho e/ou disponibilização de material.

Aos professores do Mestrado em Engenharia da Energia, em especial ao **Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira** e **Prof. Carlos. R. Rocha**.

Aos amigos do mestrado, em especial ao **Fábio Wener** e ao **Flávio Barros**.

Aos funcionários da **UNIFEI**, pela atenção e boa vontade, em especial à **Cida**, pelo apoio na fase inicial do curso e à **Margarete**, pela amizade e simpatia.

Sumário

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FÓRMULAS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. LUZ	5
2.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	7
2.3. POLUIÇÃO LUMINOSA	9
2.4. MODELAMENTO.....	24
2.5. USO RACIONAL DA ILUMINAÇÃO	26
2.6. LEGISLAÇÕES E NORMAS	38
2.6.1 NO MUNDO	38
2.6.2. NO BRASIL	47
2.7. RESULTADOS OBTIDOS NO MUNDO	55
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	65
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E ANÁLISES	68
4.1. ESTUDO DE CASO DO OBSERVATÓRIO DO PICO DOS DIAS.....	70
4.2. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DE ITAJUBÁ	75
4.3. ANTEPROJETO DE LEI CONTRA A POLUIÇÃO LUMINOSA.....	79
CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	102

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% – por cento

§ – parágrafo

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACEA – *Azienda Consortile Energia Ambiente*

ALMA – *Atacama Large Millimeter Array*

APA – Área de Proteção Ambiental

Art. – Artigo

CEMIG – Centrais Elétricas de Minas Gerais

CO₂ – Gás Carbônico

CONDEPACC – Conselho de Defesa do Patrimônio Cultural de Campinas

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DMSP – *Defense Meteorological Satellite Program*

DOM – Diário Oficial do Município

Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EUA – Estados Unidos da América

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FLAP – *Fatal Lighting Awareness Programme*

IAU – *International Astronomical Union* – União Astronômica Internacional

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

Renováveis

km – quilômetro

kW – quilowatt

LNA – Laboratório Nacional de Astrofísica

m – Metro

NGDC – *National Geophysical Data Center*

OLS – *Operational Linescan System*

OMCJN-OC – Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini -

Observatório de Capricórnio

OPD – Observatório do Pico dos Dias

PMC – Prefeitura Municipal de Campinas

MW – megawatts

Nº – número

ONU – Organização das Nações Unidas

OPD – Observatório do Pico dos Dias

Refs. – Referências

SEC – Superintendência de Eletricidade e Combustíveis

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba

W – Watt

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1 – Fluxograma dos objetivos.....	4
FIGURA 2 – Espectro eletromagnético.....	5
FIGURA 3 – Tipos de poluição luminosa.....	12
FIGURA 4 – Espectro do céu noturno em Cerro Tololo.....	23
FIGURA 5 – Planejamento de tipos de iluminação.....	26
FIGURA 6 – Espectro da Lâmpada Incandescente.....	28
FIGURA 7 – Espectro da Lâmpada Vapor de Mercúrio.....	29
FIGURA 8 – Espectro da Lâmpada Vapor de Sódio de Baixa Pressão.....	30
FIGURA 9 – Espectro da Lâmpada Vapor de Sódio de Alta Pressão.....	30
FIGURA 10 – Espectro da Lâmpada Vapor Fluorescente.....	31
FIGURA 11 – Espectro da Lâmpada Multi Vapor Metálico.....	32
FIGURA 12 – Espectro comparativo de vários tipos de lâmpadas.....	32
FIGURA 13 – Energia x Luz.....	34
FIGURA 14 – Luminária pública fechada.....	35
FIGURA 15 – Luminária pública aberta.....	35
FIGURA 16 – Luminária Moderna.....	36
FIGURA 17 – Ilustração do sistema de abertura da luminária.....	37
FIGURA 18 – Normas para a utilização de luminárias.....	37
FIGURA 19 – Mapa do Chile.....	43
FIGURA 20 – Fluxograma do Método.....	63
FIGURA 21 – Mapa de localização das cidades de Itajubá e Brazópolis.....	65
FIGURA 22 – Vista aérea do Observatório do Pico dos Dias.....	66
FIGURA 23 – Telescópio 1,6m Perkin-Elmer.....	67
FIGURA 24 – Diâmetro do espelho x Brilho do Céu.....	72
FIGURA 25 – Cidades x Impacto.....	73
FIGURA 26 - Poluição luminosa no entorno do Pico dos Dias.....	74
FIGURA 27 – Vista noturna do Pico do Dias da iluminação da cidade de Itajubá-MG.....	75
FIGURA 28 – Sistemas de iluminação do início da Av. BPS.....	76
FIGURA 29 – Sistemas de iluminação Praça Dr. José Braz.....	77
FIGURA 30 – Sistemas de iluminação sem manutenção.....	78
FIGURA 31 – Sistema de iluminação inadequado para fachadas.....	78
FIGURA 32 – Tipos de instalação de luminárias.....	89

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Etapas evolutivas da produção da luz.	7
TABELA 2 – Valor perdido em um telescópio de 4 metros no diâmetro do espelho devido ao aumento do brilho no céu.....	21
TABELA 3 – Comparativo de lâmpadas.....	33
TABELA 4 – Implantação de medidas em Los Rodeos.....	60
TABELA 5 – Implantação de medidas na Plaza de Europa.	60
TABELA 6 – Implantação de medidas em Barlovento.....	61
TABELA 7 – Implantação de medidas em Vicunha.....	62
TABELA 8 – Implantação de medidas em La Serena.	62
TABELA 9 – Impactos astronômicos da poluição luminosa.	70
TABELA 10 – Simulação de porcentagem perdida pela iluminação artificial em um telescópio de 1,6 m.	71
TABELA 11 – Impacto da poluição luminosa provocada pelas cidades.....	73

LISTA DE FÓRMULAS

	Página
FÓRMULA 1 – Estimativa do brilho do céu em um sítio de observação	11

RESUMO

A poluição luminosa é definida como a luz externa mal-direcionada que não é aproveitada devidamente, causando o brilho visto acima das cidades, ao invés de somente iluminar o chão. Este fenômeno é o resultado do mau planejamento dos sistemas de iluminação. Uma das grandes vantagens da conscientização para o planejamento desses sistemas é a economia de energia elétrica, visto que existe grande desperdício de energia pela escolha inadequada da iluminação das cidades.

Este trabalho analisa casos de outros países onde existe legislação sobre o tema e propõe uma discussão a respeito do tema da poluição luminosa. Realizou-se uma busca por legislações e dados de outros países para demonstrar a pertinência das leis em locais onde ocorre o problema. No Brasil, existem poucos locais com algum tipo de legislação neste assunto. Destas legislações, duas são municipais, uma visando a proteção de sítios astronômicos, e outra trata da proteção das tartarugas marinhas na costa brasileira.

Analisando-se os resultados, concluiu-se que nos locais onde foi aplicada a lei, além de diminuir a poluição luminosa, houve também a redução do consumo de energia elétrica, devido ao uso mais racional dos recursos, aumentando a eficiência com uma iluminação mais adequada, e gerando inclusive, ganhos ambientais.

Palavras Chave: Poluição Luminosa; Uso Racional da Iluminação; Eficiência Energética, Energia, Meio Ambiente.

ABSTRACT

Light pollution is defined as wrongly directed external light which is not used correctly, causing a brightness that can be seen above cities rather than just lighting the ground. This phenomenon is a result of bad planning when it comes to lighting systems. One of the great advantages of planning with an awareness of this problem is the economy of electrical energy, since there is a huge waste of energy through the inadequate choice of illumination in the cities.

This work analyses cases in other countries where legislation exists regarding this subject and proposes a discussion in respect to the subject of light pollution. A search was made for legislations and data from other countries to demonstrate the relevance of the laws in areas where this problem occurs. In Brazil, we found very few places with any type of legislation regarding this subject. Among these legislations 2 are municipal, one aiming at protecting astronomical sites and the other dealing with the protection of marine turtles on the Brazilian coast.

Analyzing the results, it can be concluded that in the areas where specific laws were applied, not only was there a reduction in light pollution but there was also a decrease in the consumption of electrical energy. This was due to a more rational use of resources, which increased the efficiency in the emission of the quantity of lumens, with a more adequate illumination and additionally generating environmental advantages.

Key-Words: Light Pollution; Rational Use of Illumination; Energy Efficiency, Energy, Environment.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem ocorrido um aumento crescente do brilho no céu noturno em praticamente todos os países. Este aumento da luminosidade do céu noturno é um dos efeitos mais notáveis da poluição luminosa, que pode ser definida como uma alteração nos níveis naturais de luz no ambiente externo devido à iluminação artificial (CINZANO *et al.*, 2000). O interesse pela poluição luminosa tem crescido em vários campos da ciência, estendendo-se desde a astronomia até as ciências ambientais e humanas.

Este fato tem degradado as condições visuais astronômicas e também outras áreas do espectro não visível, prejudicando as observações das profundezas do céu na escuridão absoluta para decifrar os sutis movimentos e a grande variedade de corpos celestes distantes (COHEN & SULLIVAN, 2001). O comprometimento da visibilidade do céu noturno não é causado somente pelas luminárias das vias públicas, mas também e principalmente por outros fatores comuns aos grandes centros urbanos, como avisos luminosos, outdoors, quadras e estádios de futebol, iluminação de fachadas de prédios, monumentos, entre outros (SILVESTRE, 2003). Neste contexto, segundo estudo publicado na revista mensal da ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY (CINZANO *et al.*, 2003), 66% da população mundial e até 99% dos habitantes da América do Norte e Europa Ocidental não podem contemplar um céu estrelado, devido à crescente contaminação visual e poluição luminosa no mundo.

De acordo com o INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DAS CANÁRIAS (IAC, 2004), existem vários benefícios em se reduzir a poluição luminosa, entre eles podem-se citar:

- Reduzir o consumo energético;
- Proteger o meio ambiente noturno, reduzindo as perturbações aos habitats naturais (animais, plantas e processos ecológicos), protegendo aves noturnas.
- Maior segurança no tráfego noturno.
- Aumentar a segurança do transporte aéreo e marítimo.
- Melhorar a qualidade das observações astronômicas.

Segundo CLARKE (2002), a República Tcheca é o primeiro país do mundo a adotar uma lei federal proibindo a poluição luminosa. A lei entrou em vigor em 1 de junho de 2003 e considera como poluição luminosa “todas as formas de iluminação artificial irradiadas para além das áreas destinadas, principalmente se direcionadas acima da linha do horizonte”. No mundo, diversos países regulamentam o tema regionalmente, como por exemplo, Itália, Chile, Estados Unidos, Espanha, entre outros.

No Brasil, onde esse problema tem sido muito pouco considerado, existem poucos locais com regulamentações sobre o assunto. O IBAMA protege toda a costa brasileira onde há desova de tartarugas. No município de Campinas-SP e também no município de Caeté-MG, existem legislações municipais que protegem o entorno de observatórios astronômicos da ação da luminosidade mal projetada e excessiva.

Como exemplo, observando a cidade de Itajubá-MG à noite em seus pontos elevados, o que mais se destaca em quantidade e pelo seu intenso brilho dispersivo são as lâmpadas da iluminação pública. Existem também outras fontes de luz forte, como por exemplo, nas quadras de esportes, nos clubes, fábricas, estacionamentos, canteiros de obras, residências, entre outras. Todos esses casos devem ser estudados porque o problema que causam provém do desperdício irracional de energia e normas para interferências provocadas pela luminosidade deveriam ser regulamentadas por lei. Assim, como o mesmo efeito de iluminação útil para a população pode ser obtido sem o comprometimento do meio ambiente, não há razão plausível para a existência dessa modalidade de poluição.

O excesso de iluminação não pode ser apontado como qualidade de vida para os cidadãos. Os sistemas mal projetados são responsáveis por um desnecessário gasto energético, que se traduz em prejuízo para todos, inclusive ao meio ambiente. A possibilidade de poder ver o céu e as estrelas em seu modo natural, sem a existência de poluição luminosa insere-se no que diz respeito a um meio ambiente adequado, e ainda levando em conta a observação dos corpos celestes na área de pesquisa científica.

Assim como a contaminação do ar, da água, o desmatamento, a flora, a fauna e outros bens da natureza são protegidos por legislação, visto que são recursos naturais essenciais à existência humana, nosso ordenamento jurídico

deve levar em conta que a iluminação excessiva é um poluente. Desta forma, causa danos e deve ser tratado como um problema que necessita ser regulamentado, para que não cause danos ambientais, sociais, econômicos e científicos, visto que todos os tipos de poluição podem afetar a saúde e o bem estar das pessoas, incluindo-se a poluição luminosa.

São diversos os impactos ambientais que a poluição luminosa pode causar. Mudanças na iluminação natural noturna aumentam a habilidade de alguns animais de se orientarem e isto causa a desvantagem a outros animais que não têm esta habilidade aumentada pelo excesso de iluminação em períodos noturnos, conforme LONGCORE & RICH (2004). Além disso, quando alterada a iluminação natural do ambiente, podem ocorrer danos na reprodução, migração e comunicação das espécies.

Portanto, por meio de ampla revisão bibliográfica e sua análise no tema em questão e, diante da existência da poluição luminosa em diversos locais do nosso país, este trabalho contribui alertando para a necessidade de reduzir o desperdício de energia elétrica em sistemas de iluminação mal projetados. Ainda, demonstra-se a necessidade de uma legislação pertinente, fixando normas, e é apresentado um anteprojeto de lei, para que a poluição luminosa seja evitada, buscando um caminho para o uso racional e eficiente da iluminação.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

- Analisar as condições das variáveis relativas à iluminação pública urbana frente aos impactos causados no meio ambiente e na sociedade provocados pela poluição luminosa.

Objetivo específico

- Estudar os casos e legislações existentes no Brasil e no Mundo, verificando as medidas de minimização do impacto provocado pela poluição luminosa;
- Realizar estudos de caso referentes ao OPD e a cidade de Itajubá-MG;

- Verificar a viabilidade de implementação de um anteprojeto de lei para as cidades brasileiras.

Na FIGURA 1 são mostrados os objetivos do trabalho:

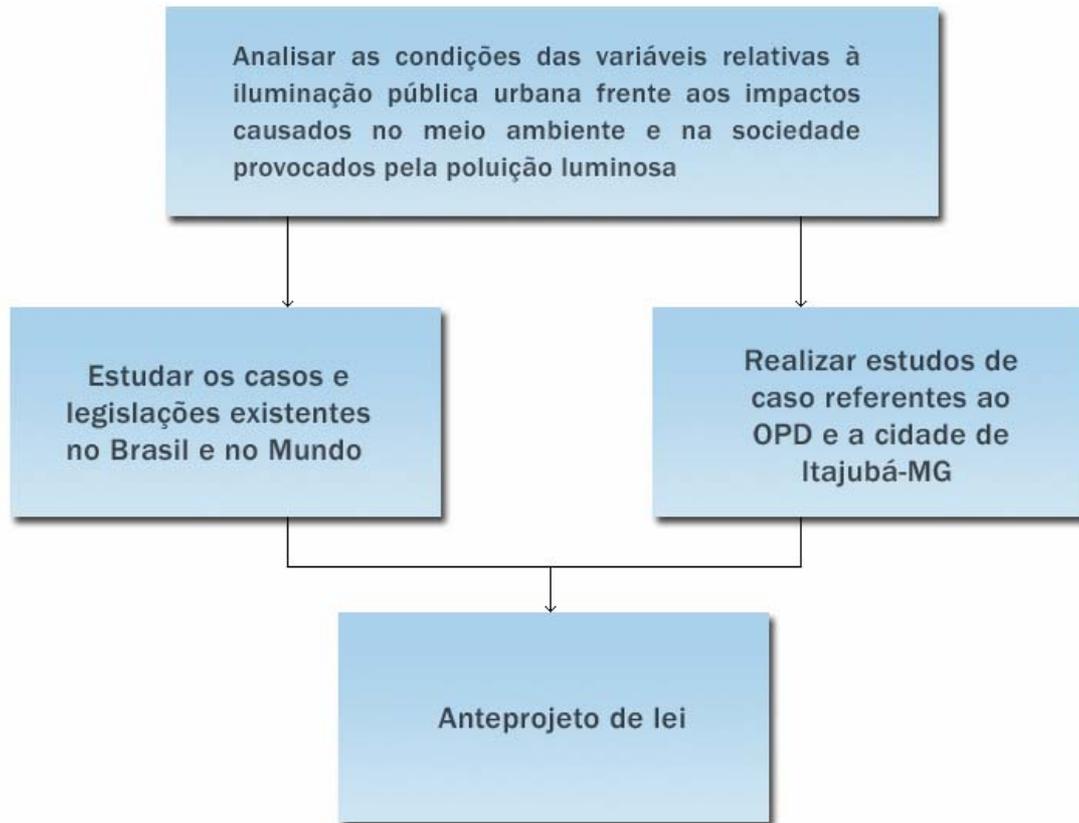


FIGURA 1 – Fluxograma dos objetivos.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma ampla revisão bibliográfica sobre o tema poluição luminosa, tema este pouco abordado no Brasil, mas de grande importância, dada a amplitude de situações que a poluição luminosa pode gerar.

2.1. LUZ

A luz é uma onda eletromagnética cujo comprimento de onda situa-se aproximadamente entre 3800Å e 7800Å (380 a 780 nanômetros). Em geral, o feixe luminoso é irradiado em todas as direções a partir de uma fonte. Todavia, pode-se direcionar o feixe luminoso para locais determinados utilizando refletores específicos para cada finalidade desejada. A iluminação artificial é comumente gerada de duas formas, por fontes incandescentes ou por sistemas de descargas elétricas em ambientes gasosos.

Na FIGURA 2 é mostrado o espectro eletromagnético. A área próxima ao ultravioleta do espectro visível é formada de comprimentos de onda mais curtos e a área próxima ao infravermelho, de comprimentos de onda mais longos, com as cores visíveis entre eles. (TOPBULB, 2007).

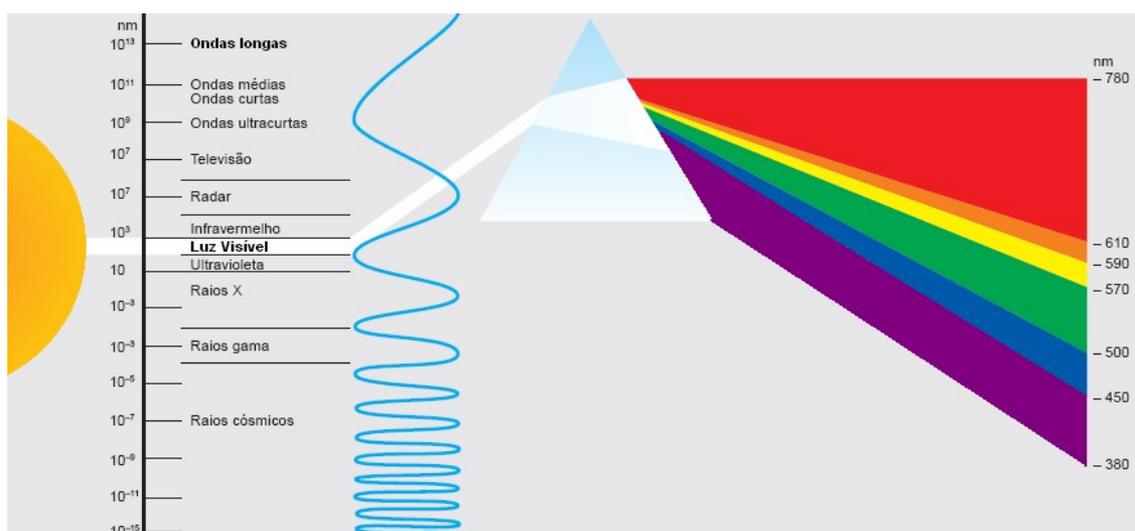


FIGURA 2 - Espectro eletromagnético.

Fonte: OSRAM (2007)

Historicamente, segundo COSTA (1998), há 500.000 anos o Homo Erectus empregava fogueiras e o uso do fogo alterou sua vida, dando luz às trevas e calor a todo o momento. O domínio do fogo introduziu a humanidade no primeiro estágio de uma tecnologia de ponta, já que o fogo era empregado como luz, calor, proteção e cozimento.

Considera-se que a produção da luz passa por 4 fases ou gerações técnicas. Na primeira, a preocupação do homem foi manter uma chama acesa constantemente, situação que levou ao desenvolvimento da vela e a lâmpada a óleo.

A segunda fase deve-se a Amié Argand, que desenvolveu o tradicional lampião de camisa em 1874, sistema energeticamente mais econômico e luminoso. Thomas Edison deu início a terceira fase há apenas um século, em 1879. Produziu uma lâmpada incandescente com filamento de carbono.

A última fase, nos dias de hoje, com o desenvolvimento de sistemas de iluminação, que integram fontes luminosas e sistemas ópticos, com elevados rendimentos luminosos no conjunto e boa reprodução de cores.

Até metade do século XIX, as melhorias se fizeram nas técnicas da produção da luz, nas lâmpadas a óleo, velas, gás natural e gás de acetileno. A lâmpada desenvolvida por Edison apresentava potência luminosa extremamente baixa, próxima a de uma vela de espermacete. O impulso das lâmpadas ocorreu quando Coolidge trefilou o tungstênio, cujas propriedades físico-químicas eram conhecidas como adequadas na utilização das lâmpadas incandescentes, tecnologia que exigiu um longo caminho.

As lâmpadas de descarga em gases, como a fluorescente, foram desenvolvidas a partir de 1933, sendo as substitutas das lâmpadas incandescentes no uso residencial, por sua melhor eficácia luminosa, reprodução de cores, facilidade de substituição e eficiência energética. No início dos tempos a civilização preocupava-se com o fogo, hoje preocupa-se com a obtenção de mais luz com menor dispêndio de energia, conforme é ilustrado na TABELA 1, onde são demonstradas as etapas evolutivas das fontes luminosas e o respectivo ano de descoberta ou modernização, desde a descoberta do fogo, passando pela vela e suas evoluções, pelo lampião, pelos

diversos tipos de lâmpadas, que tiveram seu início com a lâmpada incandescente, até as lâmpadas utilizadas nos dias de hoje.

TABELA 1 – Etapas evolutivas da produção da luz.

ANO	FONTE LUMINOSA
?	Descoberta do fogo
500.000 a.C	Fogueira
200.000 a.C	Tocha
20.000 a.C	Lâmpada a óleo mineral
Séc. I	Vela de cera
1780	Vela de espermacete
1784	Lampião Argand
1803	Lampião a gás de carvão
1808	Arco voltaico
1830	Vela parafínica
1847	Lampião de óleo parafínico
1878	Lâmpada incandescente de carvão
1880	Arco voltaico controlado
1887	Lampião com camisa
1893	Arco voltaico encapsulado
1901	Lâmpada vapor de mercúrio baixa pressão
1902	Lâmpada incandescente de ósmio
1906	Lâmpada incandescente de tântalo
1907	Lâmpada incandescente de tungstênio
1908	Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão
1912	Lâmpada incandescente tungstênio espiral
1931	Lâmpada vapor de sódio baixa pressão
1932	Lâmpada fluorescente
1941	Lâmpada de luz mista
1955	Lâmpada vapor de sódio alta pressão
1959	Lâmpada alógena
1964	Lâmpada vapor a iodetos metálicos
1973	Lâmpada fluorescente de pós-emissivos
1980	Lâmpada fluorescente compacta
1992	Lâmpada fluorescente eletrônica compacta

Fonte: Adaptado de COSTA, 2005

2.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Para uma melhor compreensão dos assuntos abordados neste trabalho, faz-se necessária a apresentação de alguns conceitos e definições, fundamentadas em BARBOSA *et al.*, (2004) e PHILIPS (2007):

- **Candela:** Unidade de intensidade luminosa.
- **Coefficiente de reflexão:** é a relação entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo luminoso incidente em uma superfície e varia de acordo com as características dos materiais.

- **Comprimento de onda:** Distância medida na direção de propagação de uma onda periódica, entre dois pontos sucessivos nos quais a fase é a mesma.
- **Conjunto óptico:** É composto pelo refletor e refrator de uma luminária, sendo responsável por todo o controle, distribuição e direcionamento do fluxo luminoso da lâmpada nela instalada.
- **Eficiência luminosa:** É a capacidade de conversão de energia elétrica em luminosidade, expressa pela razão entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz (em lumens) e a potência elétrica consumida por essa mesma fonte (em Watts).
- **Eficiência da luminária:** É a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas específicas, e o fluxo, ou a soma dos fluxos luminosos, individual da lâmpada, operando fora dessa luminária em condições também específicas.
- **Eficiência energética:** é a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. É a utilização de processos e equipamentos que visam um melhor desempenho e um menor consumo de eletricidade.
- **Espectro eletromagnético:** Representação ou especificação das radiações eletromagnéticas, cobrindo todos os seus comprimentos de onda.
- **Fluxo luminoso:** É a quantidade total de luz emitida a cada segundo por uma fonte luminosa. A unidade de medida do fluxo luminoso é o lúmen (lm), representado pelo símbolo lm (PHILIPS, 2007).
- **Iluminância:** É a quantidade de luz ou fluxo luminoso que atinge uma unidade de área de uma superfície por segundo. A unidade de medida é o lux, representada pelo símbolo E . Um lux equivale a 1 lúmen por metro quadrado (lm/m^2) (PHILIPS, 2007).
- **Índice de reprodução de cor (IRC):** é a medida de correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz.
- **Intensidade luminosa:** É definida como a concentração de luz em uma direção específica, radiada por segundo. Ela é representada pelo símbolo I e a unidade de medida é a candela (cd) (PHILIPS, 2007).

- **Lúmen:** Unidade de fluxo luminoso, expresso em lm.
- **Luminância:** Medida em cd/m^2 , é o fluxo luminoso produzido ou refletido por uma superfície.
- **Lux:** Iluminância de uma superfície plana de 1 m^2 de área sobre a qual a fonte incide, perpendicularmente, um fluxo luminoso de 1 lúmen, distribuído uniformemente. É a unidade de iluminância.
- **Luz visível:** É a porção do espectro eletromagnético compreendida entre os limites de comprimento de onda de 380 a 780 nm. Parte do espectro capaz de produzir sensação visual.

2.3. POLUIÇÃO LUMINOSA

Diversos autores têm definido a poluição luminosa desde que começou a ser estudada. SILVA (2003) define a poluição luminosa como sendo a utilização incorreta da iluminação artificial que pode causar incômodos pela difusão desnecessária da luz na atmosfera, afetando as condições estéticas do meio ambiente e ameaçando a beleza do céu noturno. De acordo com o CONAMA/Chile (1998), a poluição luminosa é definida como toda luz artificial que não é aproveitada para iluminar os solos e as construções.

Uma outra definição é dada pela lei da República Tcheca, que diz que a poluição luminosa é toda luz artificial que se propaga além das zonas onde ela é necessária e notadamente além da linha do horizonte (HOLLAN, 2003).

Acredita-se que existem três tipos principais de poluição luminosa, que podem ser descritos como:

Brilho no céu: em inglês *sky glow*, que é definido como o brilho alaranjado que pode ser visto nas torres e cidades. É causado pelas luzes que se direcionam para atmosfera sendo refratada e espalhada pelas partículas ou gotículas de água (aerossóis) causados por poeira, pólen, bactérias, esporos, sal do mar, partículas minerais em suspensão dos desertos e produtos industriais. Portanto, esse tipo de poluição luminosa é pior em áreas mais poluídas e sempre irá ocorrer quando a qualidade do ar for ruim. O brilho sobre as áreas urbanas não é sempre localizado e pode ser visto a quilômetros de distância, freqüentemente espalhando-se para as áreas rurais. A claridade do céu ofusca

as estrelas distantes, especialmente aquelas que estão mais próximas ou um pouco acima da linha do horizonte. A cor alaranjada da claridade é devido à iluminação das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão que são as mais comuns instaladas no passado. A luz é irradiada diretamente para cima a partir da fonte de luz (luminária) e é refletida a partir de onde ela incide como rodovias, pavimentos, construções, entre outros. Mesmo a iluminação atravessando uma via em um nível superficial acima da linha do horizonte irá causar o brilho no céu uma vez que a luz brilhante será refratada em partículas e gotículas na atmosfera (HOUSE OF COMMONS, 2003).

A forma com que a luz artificial é enviada ao céu divide-se em:

- Refração é a forma com que a luz artificial se refrata nas partículas do ar entre a fonte de luz e a região a ser iluminada. Tem um impacto desprezível com relação as outras formas e depende do tamanho e da quantidade de partículas do ar entre a fonte de luz e a região iluminada.
- Reflexão é a forma com que a luz se reflete nas superfícies iluminadas. Tem impacto 10 (dez) vezes inferior ao impacto direto. Seu impacto é importante em grandes instalações ou em pequenas, quando se encontra na proximidade de observatórios (distância inferior a 10 Km), conforme é mostrado na FIGURA 3.

Seu impacto não pode ser eliminado totalmente, mas pode ser reduzido evitando excessos nos níveis de iluminação ou reduzindo estes nas altas horas da noite, quando não se necessita de níveis de iluminação elevados.

Também é reduzida diminuindo-se os índices de reflexão das superfícies iluminadas (cores escuras).

- Direto é a forma originada da própria fonte de luz (lâmpada). É o mais prejudicial, principalmente se for produzido por focos ou projetores simétricos, como iluminação de grandes áreas, zonas esportivas, portos, aeroportos, fachadas de edifícios, entre outros, com elevada inclinação (superior a 20°), onde parte do fluxo da lâmpada é enviado diretamente acima da linha do horizonte, desperdiçando energia luminosa, conforme mostrado na FIGURA 3.

Estes casos são especialmente graves, pois em geral utilizam lâmpadas de grande potência, entre 400W a 2000W, de forma que um só projetor pode causar impacto em uma pequena área.

Outras instalações que causam grande impacto são as decorativas ou ornamentais, em que a luz se espalha em todas as direções e também acima da linha do horizonte.

Este tipo de impacto pode ser eliminado com um correto direcionamento do fluxo de luz, dirigindo-se a luz somente onde ela é necessária.

Nos casos dos monumentos e fachadas, poderiam ser desligados nos horários onde não são utilizados.

A fórmula que é utilizada para estimar o brilho do céu é chamada “Lei de Walker” (WALKER, 1970). Esta fórmula foi proposta por Merle Walker baseada em suas medidas do brilho do céu para cidades da Califórnia. Esta fórmula pode ser usada para estimar o brilho do céu em um sítio de observação, com o telescópio em um ângulo a 45° de zenite em direção à uma fonte urbana a “d” quilômetros de distância (IDA, 2007).

A fórmula é:

$$I = 0.01Pd^{-2.5}$$

FÓRMULA 1 – Estimativa do brilho do céu em um sítio de observação.
(WALKER, 1970).

Onde:

- **I** é o aumento do nível de brilho do céu acima do céu escuro natural;
- **P** é a população da cidade em habitantes;
- **d** é a distância do centro da cidade em km;
- **0,01** é uma constante típica para a maioria das cidades que apresentam uma determinada quantidade de iluminação pública.

Por exemplo, $I = 0,02$ significa um aumento de 2% do brilho do céu quando comparado ao céu escuro sem a contribuição de fontes artificiais, e se $I = 1,0$ significa que o brilho do céu é o dobro do fundo do céu escuro natural, um aumento de 100%. Esta equação encaixa-se melhor em cidades onde a quantidade de lumens emitidos por pessoa fica entre 500 e 1000. Já em grandes cidades, onde a quantidade de lumens emitidos por a pessoa é maior que a faixa entre 500 e 1000, a quantidade de brilho no céu indicado pela fórmula pode ser maior do que apontada pela fórmula.

Ofuscamento: em inglês *glare*, consiste na luz reluzindo para dentro dos olhos, impedindo a pessoa de enxergar a cena iluminada apropriadamente

2.3.1. IMPACTOS DA POLUIÇÃO LUMINOSA

WALKER (1970) demonstrou que a luz que vem de grandes cidades pode poluir o céu a uma grande distância deste. Já na década de 70, BERTIAU (1973) mostrou que o excesso de iluminação artificial pode provocar várias conseqüências tanto para o homem quanto para seu ecossistema.

Os impactos ambiental, social, econômico e científico da poluição luminosa são apresentados neste item. Tais impactos demonstram os danos causados por sistemas de iluminação ineficientes.

2.3.2. IMPACTO AMBIENTAL

A poluição luminosa causa vários impactos ambientais, podendo levar a alterações na biologia dos ecossistemas (MIRANDA, 2003). Os trópicos podem ser especialmente sensíveis às alterações dos padrões naturais de claro:escuro, devido à constância dos ciclos diários (GLIWICZ, 1999). A poluição luminosa pode ocasionar mudanças na orientação e atração dos organismos em locais com iluminação ambiental alterada, que podem afetar a reprodução, migração e comunicação das espécies. Em relação à orientação dos organismos, o aumento da iluminação pode estender comportamentos diurnos e crepusculares, para o período noturno por aumentar a habilidade do animal de se orientar (LONGCORE & RICH, 2004). Por exemplo, algumas aves e répteis que são usualmente diurnos caçam a noite na presença de luz artificial. Esse comportamento pode ser benéfico para estas espécies, mas não para suas presas (HILL, 1990); (SCHWARTZ & HENDERSON, 1991).

Os canhões de luz lançados diretamente ao céu (utilizados em discotecas) ocasionam problemas na migração das aves, sendo causa de grande mortalidade pela perda de orientação e batendo em obstáculos devido ao brilho. Outros pássaros atraídos pela luz dos prédios, torres de transmissão, monumentos e outras construções, voam sem cessar em torno da luz até caírem de cansaço ou pelo impacto em alguma superfície (CHARRO, 2001).

Para encontrar soluções para este problema com os pássaros, foi fundada em 1993 a FLAP (*Fatal Lighting Awareness Programme*). Os sócios da FLAP, entre outras atividades, patrulham o centro financeiro de Toronto recolhendo os pássaros vivos após acidentados e que depois são liberados

quando curados. Além disso, controlam o número de pássaros que morrem devido a poluição luminosa. Em um fim de semana, em particular, foram encontrados 10.000 casos (CHARRO, 2001).

A iluminação constante pode causar também a desorientação de alguns organismos que dependem de um ambiente escuro para se locomoverem. Um dos exemplos mais conhecidos é os dos filhotes de tartarugas marinhas que saem dos ninhos nas praias. Normalmente, os filhotes movem-se em sentido contrário de ambientes escuros e baixos (por exemplo, as vegetações das dunas) e vão em direção ao oceano. Com a presença de luzes artificiais na praia, os filhotes não conseguem diferenciar os ambientes, resultando em desorientação. Adicionalmente, a poluição luminosa pode afetar o comportamento de postura de ovos das tartarugas (SALMON *et al.*, 1995).

Alterações nos níveis de luz podem também prejudicar a orientação de animais noturnos. De acordo com PARK (1940), estes animais possuem adaptações anatômicas que possibilitam a visão noturna e rápidos aumentos de luz podem cegá-los. Algumas rãs têm a capacidade visual reduzida quando ocorre um repentino aumento da iluminação e podem levar minutos ou horas para se recuperar (BUCHANAN, 1993).

Invertebrados também podem sofrer os efeitos da poluição luminosa, particularmente insetos como mariposas, que são atraídas pela luz. As fêmeas dos vagalumes atraem os machos a 45 m de distância com flashes de bioluminescência, mas a presença de luz artificial reduz a visibilidade, prejudicando a comunicação (LONGCORE & RICH, 2004).

Os comportamentos reprodutivos também podem ser alterados pela iluminação artificial. As rãs da espécie *Physalaemus pustulosus* são menos seletivas na escolha dos machos quando o nível de iluminação está elevado, provavelmente preferindo acasalar-se rapidamente e evitando o risco de predação (RAND *et al.*, 1997). A reprodução nas aves é controlada fotoperiodicamente, e o aumento artificial do dia podem induzir alterações hormonais, fisiológicas e comportamentais, iniciando a procriação (HOUSE OF COMMONS, 2003). Algumas evidências também sugerem que a luz artificial pode afetar a escolha do local do ninho de aves (LONGCORE & RICH, 2004). Adicionalmente, luzes brilhantes como a das torres de telecomunicações, faróis

e outras construções altas podem atrair e desorientar aves, especialmente em noites sem lua, resultando em mortalidade (HOUSE OF COMMONS, 2003).

Outra situação no meio-ambiente é que a luz artificial provoca danos em locais não tão conhecidos e evidentes como ocasionado na alteração dos ciclos de subida e descida do plancton marinho, que afeta a alimentação das espécies marinhas que habitam próximo à costa. São encontradas também evidências desfavoráveis no equilíbrio das espécies, pois algumas enxergam em certos comprimentos de onda e outras não, e as predadoras podem até extinguir determinadas espécies por conta desta situação (CHARRO, 2001).

Em relação à flora os principais efeitos são que plantas não florescem se a duração da noite é mais curta do que o período normal, enquanto outras florescerão prematuramente como resultado da exposição ao fotoperíodo necessário para o florescimento (HOUSE OF COMMONS, 2003). A diminuição dos insetos que realizam a polinização de certas plantas pode afetar a produção de determinados cultivos. A fotossíntese induzida pela luz artificial produz um crescimento anormal e uma defasagem nos períodos de floração e descanso da planta (CHARRO, 2001).

Um outro impacto a ser considerado é relativo à emissão de gás carbônico (dióxido de carbono, CO₂). A principal fonte de CO₂ é pelo uso de combustíveis fósseis (NARISADA & SCHREUDER, 2004). A presença de CO₂ na atmosfera causa o aumento da temperatura ambiente, ocasionando o aquecimento global. Muitas tentativas têm sido feitas com intuito de reduzir a emissão de CO₂ na atmosfera. Em 1997 foi criado o Protocolo de Kyoto, que obriga os países a reduzir a emissão dos gases na atmosfera no período de 2008-2012, a um nível 8% menor que os níveis presentes na atmosfera em 1990. Uma das formas de reduzir esta emissão é controlando a poluição luminosa, uma vez que a geração de energia elétrica por meio dos combustíveis fósseis é a maior fonte de emissão de CO₂, como anteriormente citado.

Em se tratando de lâmpadas e seus resíduos, existem alguns elementos utilizados em lâmpadas que podem originar impactos ambientais. Estas substâncias são as seguintes: mercúrio, antimônio, bário, chumbo, cádmio, índio, sódio, estrôncio, tálio, vanádio e ítrio (NETRESIDUOS, 2007).

Pela relevância quantitativa nas lâmpadas, será dada ênfase ao mercúrio e o sódio. O mercúrio é considerado o elemento potencialmente mais perigoso entre os constituintes das lâmpadas. Isso porque se encontra em um estado e composição bastante volátil nas condições normais de pressão e temperatura. É considerado pelos fabricantes de lâmpadas (OSRAM) e pelo ELC (European Lighting Companies Federation) como a única substância de relevância ecológica representando elevados riscos ambientais.

O mercúrio líquido, com o tempo e uso, transfere-se para o pó de revestimento e contamina o vidro e elétrodos. Uma lâmpada fluorescente pode conter entre 5 a 30 mg de mercúrio.

As lâmpadas de sódio a baixa pressão contêm sais de sódio que apresentam risco de reação com água, onde produzem soluções potencialmente corrosivas de hidróxido de sódio e gás de hidrogênio que é extremamente inflamável e explosivo (NETRESIDUOS, 2007).

2.3.3. IMPACTO SOCIAL

O olho humano adapta-se rapidamente à superfície de maior brilho que está em seu campo visual, e de forma oposta apresenta uma lenta adaptação quando passa de uma região muito iluminada para outra escura (cerca de minutos). Isso se deve ao fato do olho humano possuir dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes. Os cones são adaptados à visão diurna e colorida, portanto são ativados com uma maior iluminação, enquanto que os bastonetes estão adaptados a ambientes com baixa iluminação (visão noturna ou escotópica), e ficam saturados na presença de luz.

A adaptação ao escuro é a capacidade de ajuste da sensibilidade visual quando subitamente alguém é submetido à alteração de luminosidade ambiental do mais claro para o mais escuro (que ocorre quando se entra no cinema quando o filme já começou). No começo tem-se uma dificuldade temporária para enxergar, mas após algum tempo (20 minutos) ocorre a adaptação à baixa luminosidade (os bastonetes começam a funcionar) e recupera-se visibilidade, porém com perda da resolução detalhada e da visão em cores.

Assim como ocorre adaptação ao escuro (visão escotópica), o contrário também acontece: quando termina o cinema e a luz é subitamente acesa, pode-se sentir um clarão intenso e atordoante dificultando a visão. Mas rapidamente, o olho está adaptado às novas condições de luminosidade (visão fotópica). Esse ajuste se chama adaptação ao claro e ocorre de maneira bem mais rápida porque a reciclagem de pigmentos nos cones é mais rápida.

Em termos de poluição luminosa, isso pode ocasionar problemas, principalmente para os motoristas que podem ter sua capacidade visual reduzida nas alterações bruscas de ambientes claros para escuros e vice-versa. Por exemplo, existem vias iluminadas com pouca uniformidade, com pontos de luz intercalados a mais de 3 a 5 vezes a altura das luminárias, isso provoca zonas escuras e zonas muito iluminadas, podendo fazer com que o olhe se acostume com as zonas mais brilhantes e os obstáculos nas zonas mais escuras não sejam percebidos. Um outro problema é circular por uma via sem iluminação com pontos brilhantes no campo e visão (por exemplo, projetores inclinados de um campo de futebol, luminárias prismáticas, globos instalados junto à via). O mesmo pode ocorrer quando se circula por uma via urbana com iluminação a baixa altura (globos) que devido sua baixa eficiência tem baixa capacidade de iluminação e produzem ofuscamento, impedindo a visão conveniente dos postes, prejudicando a visão. Esse ofuscamento é pior para uma pessoa com mais de 60 anos (CRAWFORD & GENT, 2002).

Alguns estudos demonstram que o ofuscamento pode promover cansaço visual, causando sonolência, dor de cabeça e stress (CRAWFORD & GENT, 2002). Alguns estudos realizados na cidade de Nova York demonstraram que a redução do ofuscamento em alguns locais reduziu o vandalismo. Adicionalmente, a invasão de luz nas casas devido às lojas de conveniência, shoppings e outros locais com alta iluminação noturna podem prejudicar a qualidade do sono das pessoas, podendo também ocasionar stress. Nos EUA existem algumas evidências que locais com iluminação mal projetada já estão causando desvalorização de imóveis.

Recentemente, alguns estudos têm sugerido que a exposição à luz durante a noite pode ser um fator de risco para o câncer, devido à supressão da luz noturna sobre glândula pineal, reduzindo a produção do hormônio

melatonina (BRAINARD *et al*, 1997, ARENDT, 1998). A melatonina é o principal produto secretado pela glândula pineal, e é exclusivamente sintetizada no escuro. A produção e secreção deste hormônio é inversamente proporcional às exposições ambientais de luz: a presença de luz inibe fortemente a produção de melatonina (REITER, 1991). A redução deste hormônio tem sido altamente correlacionada com o aumento do risco de câncer de mama. Essa teoria é fundamentada em uma série de estudos em humanos e animais (BLASK *et al.*, 2002). De forma interessante, observações epidemiológicas demonstraram um baixo índice de câncer de mama em mulheres cegas e um alto índice em mulheres que trabalham em turnos invertidos (GLICKMAN *et al.*, 2002). Em adição à iniciação do câncer, existem também evidências que a exposição excessiva à luz durante a noite pode acelerar o crescimento de tumores já estabelecidos. Em um estudo de DAUCHY *et al.* (1997), ratos que receberam transplantes de tumores (hepatoma) foram divididos em dois grupos, um deles foi exposto a um fotoperíodo normal de claro: escuro e o outro grupo à um fotoperíodo onde o período de escuro foi contaminado com luz de baixa intensidade (suficiente para reduzir os níveis de melatonina). Nos ratos que foram expostos ao fotoperíodo contaminado com luz no período de escuro, os tumores cresceram significativamente mais rápidos do que nos ratos com ciclo claro:escuro normais. Portanto, a poluição luminosa pode comprometer a produção de melatonina e ocasionar o aparecimento ou crescimento acelerado de tumores.

De acordo com CRAWFORD & GENT (2002) a maior parte dos crimes ocorre durante o dia, e durante a noite a presença de iluminação não garante segurança. Um recente relatório do Departamento de Justiça Norte-Americano para o congresso concluiu que eles têm pouca certeza que a iluminação previne o crime, particularmente porque não se sabe se os agressores utilizam a iluminação à seu favor. Em suma, a efetividade da iluminação noturna em relação à criminalidade não é conhecida. Um estudo anterior do mesmo Departamento de Justiça afirmou que mesmo não havendo evidência estatística do impacto da iluminação urbana no nível de criminalidade, existe uma forte indicação que a luminosidade aumentada (relativa a uma iluminação mais uniforme), reduz o medo do crime (CRAWFORD & GENT, 2002).

A poluição luminosa também tem prejudicado a visualização do céu pelas pessoas. A comparação dos mapas do brilho do céu com os dados da densidade populacional global do Departamento de Energia mostra que cerca de 2/3 da população mundial e 99% da população dos EUA (excluindo o Alaska e o Hawaii) e a União Européia vivem em áreas onde o céu noturno está acima do limiar determinado para áreas poluídas. Adicionalmente, cerca de 1/5 da população mundial, mais de 2/3 da população dos EUA e mais da metade da população da União Européia perderam a visibilidade a olho nu da Via Láctea (CINZANO *et al.*, 2003). No Chile, somente 1/7 da população vive em áreas com céus não poluídos, enquanto mais da metade perdeu a possibilidade de ver a Via Láctea do lugar em que vivem. Cerca de 1/3 dos chilenos não podem adaptar totalmente seus olhos para visão noturna devido ao brilho do céu noturno (CINZANO *et al.*, 2003). Portanto, isso está limitando a visualização da natureza pelas pessoas, podendo também acarretar stress.

2.3.4. IMPACTO ECONÔMICO

A poluição luminosa é economicamente cara para um país e causa perda de várias riquezas naturais como foi anteriormente discutido (Seção 3.3.2).

A baixa qualidade de iluminação cria um brilho excessivo que prejudica a visibilidade, diminuindo a segurança dos indivíduos e a observação nos sítios astronômicos. Ao invés de nos guiar, a má iluminação cria desordem e confusão e causa desperdício de energia e dinheiro. A luz que é direcionada para o céu é totalmente inútil (del CASTILLO *et al.*, 2003). Nos EUA cerca de 2 bilhões de dólares são desperdiçados anualmente com a iluminação ineficiente (CRAWFORD & GENT, 2002). Nenhum país desenvolvido ou em desenvolvimento pode suportar esse desperdício de energia (del CASTILLO *et al.*, 2003).

Em relação às perdas econômicas que ocorrem na astronomia, um estudo de MENDEZ & SCHMIDT (2006) se baseou em um telescópio de 8 metros com custo de aproximadamente 85 milhões de dólares. De acordo com estes autores, um aumento de 25% na iluminação noturna, ocasiona uma perda de quase 20 milhões de dólares para a astronomia, sendo que este valor

representa aproximadamente 2,5 vezes o aporte total do Chile para o Projeto Gemini. Um exemplo concreto de tal prejuízo é o telescópio de 5 metros instalado em Monte Palomar, Califórnia, que desde seu término, por volta de 1940, até a década de 70 foi considerado o maior telescópio do mundo. Com o aumento da poluição noturna emitida pelas cidades de San Diego e Los Angeles, este grande telescópio teve sua eficiência reduzida pela metade. Alguns astrônomos estão prevendo que o mesmo irá ocorrer com a nova geração de telescópios que estão sendo instalados no Chile, se não forem tomadas medidas preventivas para controlar a quantidade de luz que está sendo emitida para o céu.

2.3.5. IMPACTO CIENTÍFICO

A astronomia também está sofrendo grandemente com a poluição luminosa, particularmente devido aos efeitos adversos da iluminação noturna das cidades. A luz que é direcionada para o espaço é prejudicial, pois uma parte desta luz é refletida por gotículas formadas pela umidade e partículas de pó atmosféricas, causando um fundo luminoso que sobrepõe a luz natural do céu e das estrelas (MIRANDA, 2003). Os astrônomos requerem observações de objetos fracos que apenas podem ser feitas com grandes telescópios em locais livres da intensa luz das cidades. Com o uso de telescópios de 4m, equipados com detectores eletrônicos sensíveis, é possível observar objetos que estão 250 milhões de vezes mais distantes que as estrelas mais distantes que o olho humano pode distinguir (isso equivale a detectar a luz de uma vela a uma distância de 100.000 km). Estas observações permitem aos astrônomos detectar galáxias que se encontram à cerca de 10 bilhões de anos luz (MENDEZ & SCHMIDT, 2006). Existe uma perda da efetividade na abertura do telescópio e do seu valor com o aumento da luminosidade artificial no céu (CRAWFORD, 1999). CRAWFORD (1999), correlacionou as perdas econômicas para a astronomia e para os observatórios com a poluição luminosa.

Na TABELA 2 é mostrado como uma pequena quantidade de poluição luminosa pode afetar o poder de observação de um telescópio, acarretando assim em perda econômica para a astronomia e para os observatórios. A

variável X significa o nível de brilho do céu (*sky glow*) aumentado quando comparado ao fundo de céu sem a contribuição de iluminação artificial. A abertura equivalente do telescópio foi definida como: (quadrado do diâmetro do espelho do telescópio/X)^{1/2}. Para um céu sem contribuição de luz feita pelo homem, tem-se um valor de X=1,00. Um valor de X=1,20, significa um aumento de 20% no brilho do céu, devido a produção de poluição luminosa pelo homem. No caso de um telescópio de 4 metros significa diminuir o diâmetro efetivo deste telescópio para um de 3,81 metros. Para um valor de X=2,00, significa duplicar o nível da luminosidade natural do céu, transformando um telescópio de 4 metros em um de 2,83 metros e assim por diante (CRAWFORD, 1999).

TABELA 2 – Valor perdido em um telescópio de 4 metros no diâmetro do espelho devido ao aumento do brilho no céu.

X (Brilho do céu)	Diâmetro do espelho em metros
1,00	4,00
1,10	3,81
1,20	3,65
1,25	3,58
1,50	3,27
2,00	2,83
3,00	2,31
4,00	1,79

Adaptado de CRAWFORD, 1999

Astrônomos profissionais foram os primeiros a reconhecer a ameaça da poluição luminosa sobre o céu escuro que é necessário para as pesquisas astronômicas nos principais observatórios mundiais. Este problema não é atual, pois no Observatório de Steward em Tucson, Arizona (EUA), quando um telescópio de 0,9 m foi construído próximo ao ano de 1920, a eletrificação e a instalação de iluminação nas regiões próximas já promoveram problemas entre os astrônomos e a comunidade. A instalação do observatório Palomar para um telescópio de 5m no sudeste da Califórnia e do observatório nacional dos EUA no sudeste do Arizona em 1959 foi influenciada, em parte, pelo desejo dos profissionais de estar longe das luzes da cidade. Na década de 1970 nos EUA, os astrônomos lideraram a primeira ação efetiva para preservação do céu

escuro por meio do desenvolvimento e adoção de códigos para a iluminação das cidades e do estabelecimento de comitês de aconselhamento permanente para iluminação (del CASTILLO *et al.*, 2003).

A União Astronômica Internacional (IAU) reconheceu que o problema da perda do céu escuro era de ordem mundial e estabeleceu a Comissão 50, Preservação de Sítios Astronômicos, com a função de proteger os recursos astronômicos, tanto ópticos como os de rádio. A Comissão 50 produziu as seguintes recomendações:

- Astrônomos e observatórios devem trabalhar com apoio de indivíduos e organizações envolvidos na proteção do céu escuro, sendo que a Comissão 50 poderia ser um destes mecanismos. Cada observatório deve ter um escritório que trate do tema poluição luminosa para ser um ponto de contato.
- Os observatórios devem monitorar e medir a claridade do céu e outros impactos ambientais que possam ocorrer e que a IAU estabeleça mecanismos para coordenar estas medições.

A região norte do Chile possui um dos melhores céus do hemisfério sul para observações astronômicas, devido à transparência e ausência de nuvens durante praticamente o ano todo. Como conseqüência, o Chile tem a maior concentração de centros astronômicos ópticos do mundo tais como Cerro Tololo, Pachón, Las Campanas, La Silla e Paranal e mais recentemente, “The Atacama Large Millimeter Array” ALMA, que é um rádio-observatório (SANHUEZA & SANTANDER, 2003).

Na FIGURA 4A é representado o espectro do céu noturno obtido por um telescópio de 1,5 metros na direção do zênite no Observatório de Cerro Tololo. A luz que se detecta provém de várias fontes: emissões naturais da atmosfera terrestre (oxigênio, sódio, etc.), a luz zodiacal (luz do sol que se reflete na poeira interplanetária), luz de estrelas e galáxias muito distantes, e a poluição luminosa. A evidência do último componente mencionado é percebida pela pequena emissão de mercúrio (Hg I) que se detecta no comprimento de onda de 5461 Å.

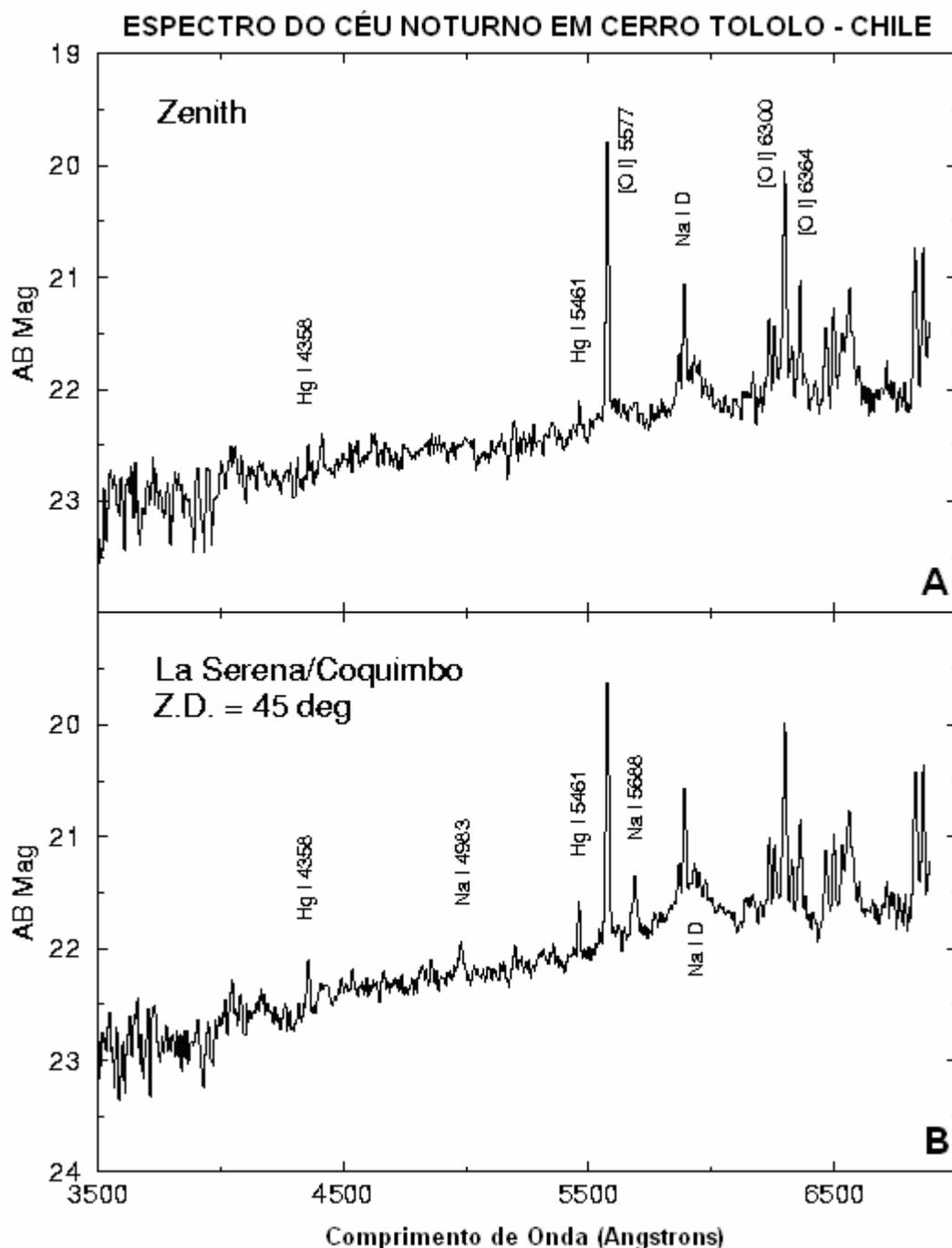


FIGURA 4 – Espectro do céu noturno em um telescópio de 1,5m na posição Zênite em Cerro Tololo.

Fonte: MENDEZ & SCHMIDT, 2006

Na FIGURA 4B é representado o espectro do céu noturno obtido pelo mesmo telescópio apontado em um ângulo de 45° sobre o horizonte na direção das cidades de La Serena e Coquimbo. Nota-se claramente o aumento das emissões de mercúrio (Hg I 4358 e Hg I 5461) e sódio (Na I 5688) que provêm

integralmente da poluição luminosa. Adicionalmente, observa-se um grande componente de emissão de sódio (Na I D). Estas emissões aumentam em 5% o brilho total do céu. Isto se traduz em uma perda efetiva do poder coletor de luz dos telescópios em Tololo na mesma porcentagem (MENDEZ & SCHMIDT, 2006).

2.4. MODELAMENTO

O crescente interesse pelo tema poluição luminosa e seus efeitos no brilho do céu noturno fez com que os pesquisadores realizassem monitoramentos periódico da situação global. Alguns pesquisadores têm realizado modelamento da poluição luminosa de várias maneiras. GARSTANG (1986) realizou cálculos detalhados para alguns observatórios, criando mapas que mostram como o brilho do céu varia em diferentes elevações e azimutes para cada sítio observado. BURTON (2001) usou dados do programa de desenvolvimento de satélites para monitoramento ambiental dos EUA (*The U.S. Air Force Defense Meteorological Satellite Program - DMSP*) para estimar o brilho do céu em áreas urbanas próximas. O estudo de BURTON tem a vantagem de considerar dados de satélite de alta resolução, tanto espacialmente quanto em termos de intensidade.

O *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) é um programa de desenvolvimento de satélites para monitoramento ambiental de responsabilidade da força aérea americana. Seu imageador denomina-se *Operational Linescan System* (OLS), caracterizando-se por um sensor de duas bandas centradas no visível e no infravermelho termal. Os dados do sensor OLS correspondem à energia emitida na região do visível, identificando assim fontes de luz à superfície. O satélite descreve uma órbita de passagem noturna, com seu canal visível dispondo de um amplificador de sinais que permite a identificação de fontes de baixa emissão de energia luminosa nas imagens. Desta forma, os dados diários obtidos por este sensor são comparados a uma base de luzes estáveis determinadas a partir de composições temporais das imagens do sensor (ELVIDGE *et al.*, 1996).

Uma forma de representar a distribuição espacial do brilho no céu é realizar uma aproximação baseada na densidade populacional, uma vez que áreas mais populosas usualmente produzem níveis mais altos de poluição luminosa, e conseqüentemente uma maior luminosidade artificial no céu noturno (CINZANO *et al.*, 2001). Entretanto, de acordo com CINZANO *et al.* (2001), esse tipo de modelamento apresenta algumas limitações: 1) a aparente proporcionalidade entre a população e o brilho do céu é quebrada quando se vai de uma escala mais larga para uma menor, olhando maiores detalhes devido ao fato da propagação atmosférica da poluição atmosférica ocorrer a grandes distâncias a partir da sua fonte; 2) a emissão de luz para o céu não é sempre proporcional à sua população, devido à diferença do nível de desenvolvimento da população e das práticas de iluminação; 3) algumas fontes poluentes não são representadas nos dados populacionais (i.e. sítios industriais) e 4) censos populacionais não são realizados de forma padronizada no mundo.

Recentemente, têm sido usados mapas globais das radiações atmosféricas de fontes luminosas humanas usando dados do programa de desenvolvimento de satélites para monitoramento ambiental (*The U.S. Air Force Defense Meteorological Satellite Program - DMSP*) – e do Sistema Operacional Linescan (OLS), para modelar o brilho artificial celeste. De 1982 a 1992 somente dados em filme estavam disponíveis dos registros do DMSP-OLS, com a desvantagem que este produto não distingue entre fonte de luzes persistentes das cidades e fontes de luz efêmeras como fogo. ELVIDGE *et al.* (1997a,b,c) identificaram locais onde existiam fontes de iluminação persistente.

Existem alguns projetos que tem avaliado a situação do brilho do céu noturno utilizando a tecnologia dos satélites DMSP. O projeto “Poluição luminosa e a situação do céu noturno nos sítios astronômicos” é realizado pela Universidade de Pádova em colaboração com o Centro Nacional Geofísico de Dados (*National Geophysical Data Center – NGDC*) e Instituto de Ciência e Tecnologia de Poluição luminosa (ISTIL). Existe também um projeto intitulado “Monitoramento global da poluição luminosa e do brilho do céu noturno em áreas de observatórios” financiado pela ISTIL e com apoio da Agencia Espacial Italiana. Outro projeto chamado “Mapeamento do brilho do céu noturno em

áreas de observatórios” é financiado pela Associação Internacional Céu Escuro (*International Dark-Sky Association – IDA*) e alguns observatórios.

Mais recentemente, CINZANO *et al.* (2001) realizaram medidas do fluxo de luz emitido pelas fontes da superfície terrestre que se direcionam para o céu obtidas a partir da radiação detectada pelo OLS transferida pelos satélites DMSP. Radiações observadas pelo OLS com alta sensibilidade à luz visível detectados pelos satélites DMSP permitiram os pesquisadores do grupo do Dr. Cinzano obter informações de alta resolução das emissões de luz para o espaço, mas estas informações não apresentam evidência direta dos efeitos desta luz no céu noturno devido à propagação da poluição luminosa (CINZANO, 2002).

2.5. USO RACIONAL DA ILUMINAÇÃO

O uso irracional dos sistemas de iluminação que causa a poluição luminosa é facilmente identificado. Sistemas de iluminação mal projetados, direcionando a luz acima da linha do horizonte, podem ser evitados com um planejamento e a utilização adequada de lâmpadas, luminárias e acessórios.

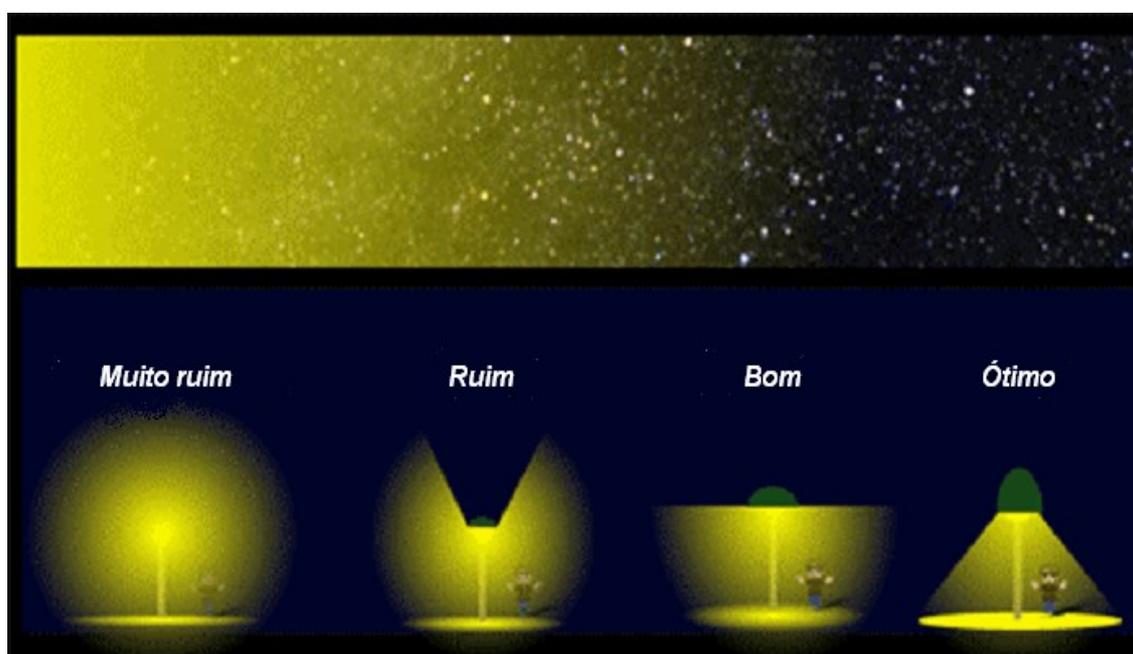


FIGURA 5 – Planejamento de tipos de iluminação.

Fonte: CSA (2007)

Na FIGURA 5 são mostrados 4 exemplos de iluminação, sendo 2 totalmente ineficientes, que causam dispersão de luz acima da linha do horizonte e 2 eficientes. Note nos 2 primeiros exemplos o brilho alaranjado no céu, que é resultado da luz direcionada diretamente ao céu, tirando a visão que a população tem das estrelas. À medida que os sistemas se tornam mais eficientes, pode-se notar que o brilho alaranjado do céu desaparece, podendo-se visualizar um maior número de estrelas.

Como pode-se observar, a ilustração “Muito ruim” ocorre em sistemas como as luminárias esféricas (globos) utilizados em praças públicas. Claramente, é o que oferece pior visão do céu, resultado causado pela poluição luminosa.

Na ilustração “Ruim” existe um anteparo que impede a luz de ser direcionada diretamente ao céu, mas não respeita a linha imaginária do horizonte, o que impediria a luz de iluminar o céu, conforme ilustrado em “Bom”, tendo como resultado uma melhor visão noturna do céu e um melhor aproveitamento da quantidade de lumens emitidos pelo sistema de iluminação.

A ilustração “Ótimo” é o sistema mais bem planejado, pois ilumina apenas onde é necessário e com a adequada potência para a aplicação, não causando a poluição luminosa, oferecendo uma visão perfeita do céu e fazendo uso eficiente do sistema de iluminação.

2.5.1. LÂMPADAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A seguir serão apresentados tipos de lâmpadas, luminárias, reatores e ignitores, descrevendo-se os sistemas mais eficientes.

LÂMPADAS INCANDESCENTES COMUM

Segundo HADDAD E YAMACHITA (2001), a iluminação incandescente comum resulta da incandescência de um fio percorrido por uma corrente elétrica, por aquecimento do filamento em vácuo ou em um determinado gás.

A lâmpada incandescente é uma das mais antigas fontes de luz e é a fonte de luz artificial mais difundida no mundo (OSRAM, 2007).

O filamento de tungstênio alojado no interior de um bulbo de vidro preenchido com gás inerte, quando é percorrido por uma corrente elétrica no filamento, produz um fluxo de elétrons que se chocam com os átomos de tungstênio, liberando uma energia que se transforma em luz e calor.

Com temperatura de cor agradável, na faixa de 2.700 K, emite uma luz amarelada e tem um índice de reprodução de cores muito bom. (OSRAM, 2007), conforme é ilustrado no Espectro Visível na FIGURA 6.



FIGURA 6 - Espectro da Lâmpada Incandescente.

Fonte: Adaptado de IDA (2007).

Essas lâmpadas têm uma vida útil de aproximadamente 1000 horas em condições normais, e são utilizadas em residências e pequenas áreas, pois tem baixa eficiência luminosa.

LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO DE ALTA PRESSÃO

Segundo HADDAD E YAMACHITA (2001), este tipo de lâmpada é constituído de um bulbo de vidro duro, contendo em seu interior um tubo de descarga de quartzo, que suporta altas temperaturas. Possui argônio e mercúrio que quando vaporizam, produzem um efeito luminoso. Em cada extremidade possui um eletrodo principal de tungstênio, e em um dos eletrodos existe um outro auxiliar, que é ligado em série com um resistor de partida, localizado na parte externa do tubo de descarga.

Dentro do bulbo externo é colocado gás inerte na pressão atmosférica, que mantém a temperatura da lâmpada constante.

Possui um fluxo luminoso considerado pobre (luz branca azulada com emissão na região visível em comprimentos de onda amarelo, verde, azul, sem o vermelho), mas o tubo de descarga emite fluxo em ultravioleta. A correção da

cor vermelha é feita através da transformação da radiação ultravioleta em luz vermelha, através de uma camada de fósforo no bulbo.

A FIGURA 7 ilustra o Espectro da Lâmpada Vapor de Mercúrio, onde se pode se constatar o pobre rendimento em cores e a emissão de ultravioleta.

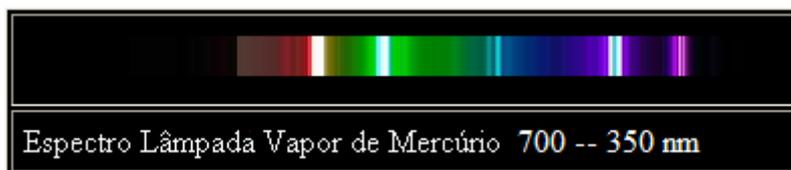


FIGURA 7 - Espectro da Lâmpada Vapor de Mercúrio.

Fonte: Adaptado de IDA (2007).

Necessita de um reator, que fornece a tensão necessária na partida e limitação da corrente normal de operação.

A lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão tem vida útil superior a 15000 horas com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período.

LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO

Segundo HADDAD E YAMACHITA (2001), este tipo de lâmpada é constituído de um tubo de descarga em forma de U, com um eletrodo em cada extremidade, com gás argônio e neônio em baixa pressão, que facilitam a partida. Contém também sódio metálico que vaporiza durante o funcionamento.

O conjunto é protegido por um invólucro de vidro tubular, no qual existe vácuo coberto na superfície interna por óxido de índio, que funciona como refletor infravermelho e mantém a parede do tubo de descarga na temperatura apropriada de 270° C.

A lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão tem vida útil acima de 15000 horas, com depreciação de 30% do fluxo luminoso no período.

A descarga elétrica inicia-se na partida com o gás neônio, que provoca a produção de um pequeno fluxo luminoso de cor rosa e elevação da temperatura, onde há progressiva vaporização do sódio. A condição normal de funcionamento da lâmpada acontece em aproximadamente 15 minutos, com fluxo luminoso na cor amarela, que ocorre devido a descarga no vapor do

sódio, conforme ilustrado no Espectro da Lâmpada Vapor de Sódio de Baixa Pressão na FIGURA 8.



FIGURA 8 - Espectro da Lâmpada Vapor de Sódio de Baixa Pressão.

Fonte: Adaptado de IDA (2007).

Sua eficiência é da ordem de 200lm/W, maior que a das lâmpadas incandescentes e de mercúrio.

LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO

Segundo HADDAD E YAMACHITA (2001), este tipo de lâmpada é similar ao da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão, com diferença apenas no formato do tubo de descarga, que neste caso é comprido, estreito e feito de óxido de alumínio sintetizado translúcido (material capaz de suportar altas temperaturas, pois o tubo de descarga desta lâmpada pode chegar a temperatura de 1000°C, onde o xenônio inicia a partida, mercúrio para a correção da cor do sódio em alta pressão e com eletrodos nas extremidade de nióbio.

O tubo de descarga é posto dentro de um bulbo externo onde existe vácuo, que diminui a perda de calor externo, aumenta a pressão no tubo de descarga e a eficiência luminosa da lâmpada. Na FIGURA 9 é mostrado o Espectro da Lâmpada Vapor de Sódio de Alta Pressão.

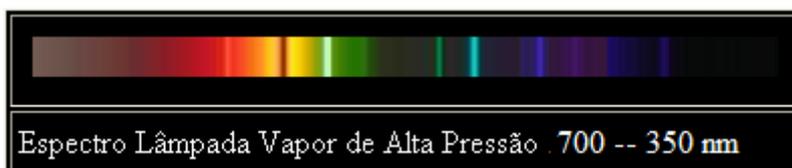


FIGURA 9 - Espectro da Lâmpada Vapor de Sódio de Alta Pressão.

Fonte: Adaptado de IDA (2007).

Tem funcionamento similar ao das lâmpadas de descarga de modo genérico, necessitando apenas de tensões altas para a partida em função da geometria do tubo de descarga, sendo necessário um ignitor.

Demora em torno de 3 a 4 minutos para atingir um brilho constante. Antes disso existem variações das cores emitidas devido a composição dos gases internos, até chegar a sua cor final, branca-dourada.

Tem vida útil superior a 24.000 horas com depreciação do fluxo luminoso no período e sua eficácia luminosa é de 120 lm/W, sendo menor que as de sódio de baixa pressão.

LÂMPADAS FLUORESCENTES

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de descarga de baixa pressão, e a luz é produzida por pós-fluorescentes ativados por radiação ultravioleta de descarga.

O bulbo, em seu interior é recoberto com pós fluorescentes que determinam a quantidade e a cor da luz emitida. O formato do bulbo é tubular longo com um filamento em cada extremidade, com vapor de mercúrio em baixa pressão e uma pequena quantidade de gás inerte para a partida.

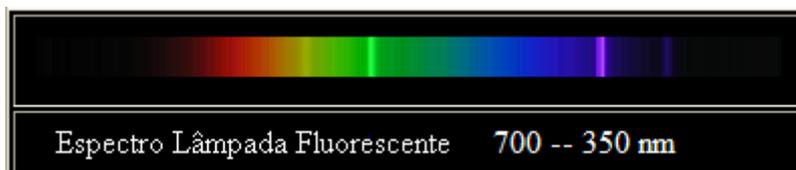


FIGURA 10 - Espectro da Lâmpada Vapor Fluorescente.

Fonte: Adaptado de IDA (2007).

LÂMPADAS MULTI VAPOR METÁLICO

As lâmpadas de multi vapor metálico consistem em um tubo de quartzo, contendo mercúrio de alta pressão e uma mistura de iodeto metálico, que está alojado em um bulbo externo de vidro e termina em uma base-padrão com rosca.

A excelente estabilidade de cor assegura uma aparência uniforme entre as diversas lâmpadas instaladas.

São utilizadas em iluminação esportiva (estádios), monumentos, fachadas e demais locais que necessitem de uma iluminação com alta qualidade de luz e eficiência do sistema (PHILIPS, 2007).

A FIGURA 11 mostra o Espectro visível da lâmpada Multi Vapor Metálico entre os comprimentos de onda de 700 a 350nm.

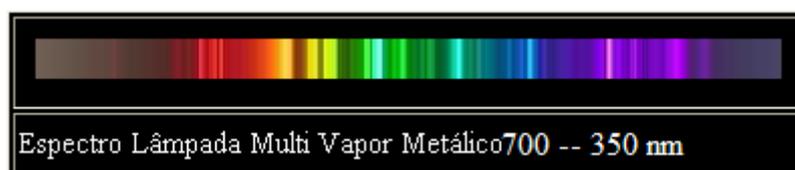


FIGURA 11 - Espectro da Lâmpada Multi Vapor Metálico.

Fonte: Adaptado de IDA (2007).

2.5.2. ESPECTRO COMPARATIVO DE LÂMPADAS

A FIGURA 12 mostra o espectro de vários tipos de lâmpadas e as respectivas faixas contaminantes e não contaminantes. A área em azul é a que realmente ilumina as superfícies e é visível. A área em amarelo e a em vermelho não são visíveis, não iluminam as superfícies. Pode-se notar que a área em amarelo é contaminante para a astronomia. O eixo X dos gráficos abaixo corresponde ao Comprimento de Onda (λ) e o eixo Y corresponde a intensidade da fonte.

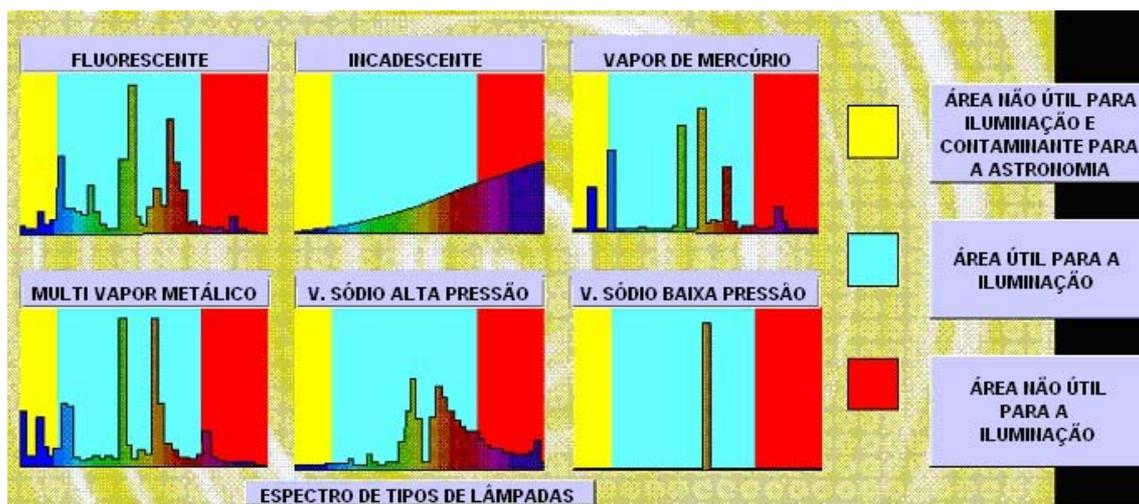


FIGURA 12 – Espectro comparativo de vários tipos de lâmpadas e de faixas contaminantes e não contaminantes.

Fonte: IAC (2007)

2.5.3. TABELA COMPARATIVA DE TIPOS DE LÂMPADAS

Na TABELA 3 são mostrados os diversos tipos de lâmpadas em um comparativo entre as características de cada uma. As lâmpadas incandescentes são as mais ineficientes quando comparada aos outros tipos. Elas têm alto consumo de energia, baixa eficiência e baixo tempo de vida.

Para os sistemas públicos de iluminação, a lâmpada mais eficiente é a Vapor de sódio de alta pressão, que tem um tempo de vida longo, baixo consumo de energia, ótima eficiência e menor potência utilizada, quando comparada aos outros modelos.

As lâmpadas de vapor metálico são utilizadas quando se quer um rendimento de cor melhor do que o oferecido pelas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. Pela sua melhor definição de cores, é usada em locais onde exista a possibilidade de transmissão de programas televisão, apesar da energia usada ser maior do que as eficientes lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.

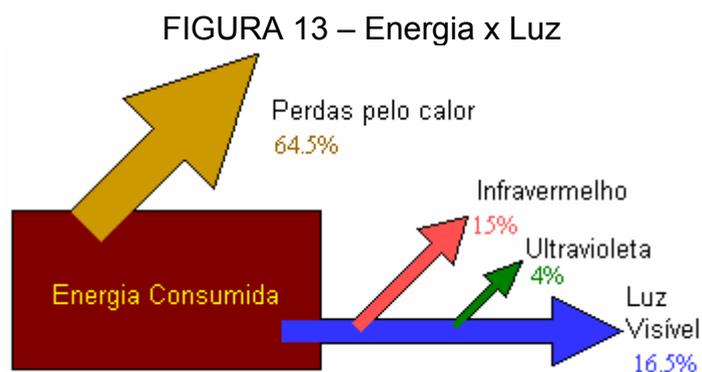
As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão oferecem a melhor eficiência e o menor consumo de energia. Emitem em apenas uma pequena faixa do espectro visível, por isso tem baixíssimo rendimento de cores.

TABELA 3 – Comparativo de lâmpadas.

TIPOS DE LÂMPADAS					
FATOR	INCANDESCENTE	FLUORESCENTE	VAPOR METÁLICO	SÓDIO ALTA PRESSÃO	SÓDIO BAIXA PRESSÃO
POTÊNCIA	25 - 150	18 - 95	50 - 400	50 - 400	18 - 180
LÚMENS	210 - 2700	1000 - 7500	1900 - 30000	3600 - 46000	1800 - 33000
EFICIÊNCIA (LÚMENS/WATTS)	8 - 18	55 - 79	38 - 75	72 - 115	100 - 183
TEMPO DE VIDA	750 - 2000	10000 - 20000	10000 - 20000	18000 - 24000	16000
ENERGIA USADA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXA	MUITO BAIXA
RENDIMENTO COR	BOA	BOA	BOA	MODERADA	-

Fonte: Adaptado de IDA (2007)

A eficiência luminosa ou rendimento energético das lâmpadas varia de acordo com a tecnologia. Na FIGURA 13 é mostrada a transformação energética que se produz em uma lâmpada de vapor de mercúrio:



FONTE: Adaptado de TECNOEDUCA, 2007

2.5.4. LUMINÁRIAS E NORMAS

De acordo com BARBOSA e ALMEIDA (2004) luminárias são equipamentos que têm a função de controlar e distribuir a luz produzida por um determinado tipo de lâmpada previamente instalada e classificadas como:

- externas ou internas;
- pelo tipo de lâmpada;
- aberta ou fechada;
- características fotométricas (rendimento, distribuição do fluxo luminoso da lâmpada e da intensidade luminosa);
- características elétricas (segurança, classe de proteção, etc)
- tamanho e formato.

Um dos fatores mais importantes a serem considerados em uma luminária é quantidade de fluxo luminoso que atinge a área a ser iluminada. As luminárias eficientes apresentam rendimento superior a 75%. Recomenda-se que as luminárias para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e as de multi vapor metálico de 250 e 400W possuam grau de proteção do conjunto ótico IP65 ou superior. O grau IP65 significa que a luminária em questão é totalmente protegida contra o pó e também a pressão de água 0,3 bar quando instaladas a 3 metros de altura do solo (BARBOSA e ALMEIDA, 2004).

As luminárias ornamentais são utilizadas em praças, calçadões, áreas verdes e devem integrar-se ao ambiente e iluminá-lo adequadamente durante a noite. Podem ser esféricas, cúbicas e outros formatos. Quando não utilizados refletores internos que redirecionam o fluxo luminoso para o plano vertical, não evitam a emissão de luz para o céu (BARBOSA *et al.*, 2004).

CONCEITO ANTIGO E MODERNO

De acordo com ROSITO (2006), as luminárias de conceito antigo são consideradas em desacordo com as normas atuais e seguem dois tipos distintos:

O primeiro tipo é o da luminária pública fechada, com refrator prismático em vidro boro-silicato e corpo refletor estampado em chapa de alumínio anodizado. O equipamento elétrico pode ser incorporado ou externo, dependendo do modelo utilizado. O vidro boro-silicato causa dispersão da luz, situação esta que gera poluição luminosa.

A padronização deste sistema é de acordo com dimensões, tem rápida depreciação e rendimento luminotécnico entre 40% e 50%, considerado baixo comparado ao das luminárias modernas.

A FIGURA 14 ilustra a luminária pública fechada, muito utilizada em sistemas de iluminação pública das cidades, tanto com as lâmpadas de vapor de mercúrio, como as de vapor de sódio de alta pressão.

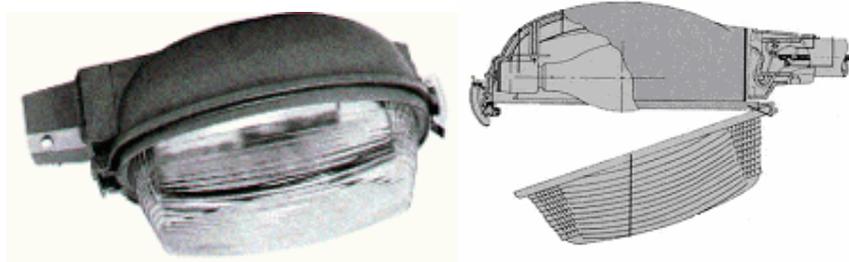


FIGURA 14 - Luminária pública fechada.

Fonte: CORTELUX (2007)

A FIGURA 15 ilustra a luminária pública aberta.

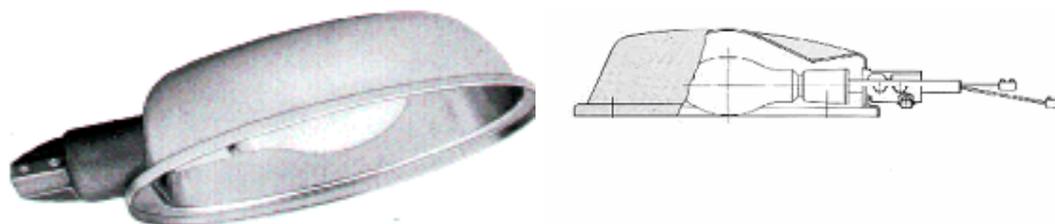


FIGURA 15 - Luminária pública aberta.

Fonte: CORTELUX (2007)

De acordo com ROSITO (2006), as luminárias de conceito moderno estão em conformidade com as normas ABNT NBR IEC 60598 e ABNT NBR 15129. A luminária é fechada, tem corpo em liga de alumínio, refletor em alumínio de alta pureza e equipamento auxiliar incorporado; tem padronização de acordo com a segurança, eficiência e durabilidade; tem vedação (grau de proteção IP 65 ou superior); resistência mecânica à intempérie.

O rendimento luminotécnico é entre 70 a 80%, maior que o das luminárias de conceito antigo, utilizam lâmpadas de vapor de sódio, que têm eficiência de 80 a 140 lm/W, com vida mediana entre 24.000 e 32.000 horas e que duram entre 5 a 7 anos, ou lâmpadas de vapor metálico, com eficiência de 65 a 90 lm/W, vida mediana de 15.000 horas e que duram 3 anos e meio.



FIGURA 16 - Luminária Moderna.

Fonte: SCHRÉDER (2007)

Na FIGURA 16 é mostrado um modelo de luminária moderna. Entre as principais características destes sistemas estão (SCHRÉDER, 2007):

- Mais iluminância. É equipada com uma nova geração de refletores multicamada, que apresentam um coeficiente de reflexão de 95%.
- Consome menos energia:
 - Permite um posicionamento mais preciso da lâmpada
 - Possui um reator eletrônico com melhor rendimento. A potência das lâmpadas pode ser regulada de forma exata e até mesmo individualmente. Tal ajuste do fluxo luminoso às necessidades reais determinadas pelas características de reflexão do refletor, oferece uma fonte de economia suplementar.
- Menos manutenção

-Feita de materiais nobres, corpo em liga de alumínio e difusor em vidro. O vidro tem um tratamento auto-limpante que reduz a sujeira exterior. Essa sujeira pode ser responsável por cerca de 8% da depreciação luminosa se a luminária for limpa a cada 2 anos e por muito mais se nunca for limpa. O tratamento auto-limpante torna hidrófila a superfície do vidro, o que significa que a chuva se espalha sob a forma de uma película de água em vez de gotas de água, eliminando assim os resíduos que foram decompostos pelos raios UV da luz do dia.

-De simples manutenção. Uma manete integrada no *capot* permite com um simples movimento o acesso direto e rápido à lâmpada, conforme é mostrado na FIGURA 17. A segurança está assegurada pelo corte imediato de corrente quando o capot é aberto.



FIGURA 17 - Ilustração do sistema de abertura da luminária.

Fonte: SCHRÉDER (2007)

NORMAS PARA A UTILIZAÇÃO DE LUMINÁRIAS

A FIGURA 18 ilustra alguns exemplos de luminárias utilizadas em sistemas públicos e privados. Como pode-se observar, quando os sistemas são planejados, existe um melhor aproveitamento do fluxo luminoso, utilizando-se a energia de modo mais eficiente.

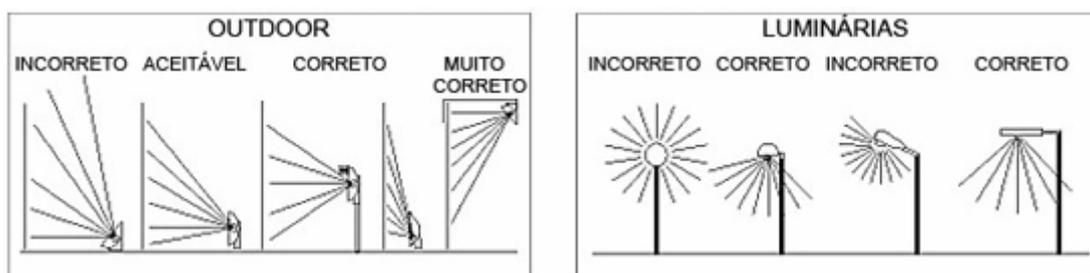


FIGURA 18 – Normas para a utilização de luminárias.

Fonte: IAC (2007)

No caso da ilustração OUTDOOR, quando o sistema de iluminação é incorretamente direcionado, além de iluminar a área que realmente deve ser iluminada, existe uma parcela que é direcionada para o céu, causando a poluição luminosa. Quando o planejamento do sistema é realizado, a luminária é corretamente utilizada e direcionada, conforme demonstrado nos itens “aceitável”, “correto” e “muito correto”.

Na ilustração “LUMINÁRIAS”, o item “incorreto”, corresponde às luminárias esféricas utilizadas em praças públicas, que além de iluminar onde deveria, ilumina acima da linha do horizonte, energia esta que é perdida. Os demais itens “correto” e “incorreto” da ilustração “LUMINÁRIAS”, referem-se a luminárias para a iluminação pública. Observa-se que dependendo do ângulo do sistema, existe uma quantidade de fluxo luminoso que não é aproveitado e que é direcionado ao céu. Quando o sistema é corretamente direcionado, o uso da energia no sistema de iluminação é eficiente.

2.5.5. EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Os reatores são necessários para todas as lâmpadas de descarga, no sentido de controlar e estabilizar a corrente de partida e a tensão de funcionamento. Quando não especificados corretamente, podem reduzir a vida da lâmpada em até 50% e a luminosidade em até 30%. As novas tecnologias em reatores eletromagnéticos estão sendo aprimoradas para que haja baixas perdas e maior durabilidade. Já os reatores eletrônicos têm perdas inferiores a 8% e são os substitutos dos eletromagnéticos.

O ignitor é um dispositivo eletrônico que produz picos de tensão na partida das lâmpadas. As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e multi vapor metálico necessitam para a partida desses picos de tensão, que são entre 1,6 a 4,5kV, por um curto espaço de tempo (BARBOSA e ALMEIDA, 2004).

2.6. LEGISLAÇÕES E NORMAS

2.6.1 NO MUNDO

A consciência cada vez maior do público a respeito da poluição luminosa inspirou estados e municípios americanos a aprovarem mais de 700 leis

"amigáveis" para os céus escuros. Em 2000, o estado do Novo México passou um Ato de Proteção do Céu Noturno. A Flórida possui diversas regulamentações para proteger tartarugas marinhas contra a poluição luminosa.

Em 2000, o parlamento da Lombardia, na Itália, aprovou uma lei abrangente para iluminação externa. Atitudes similares foram tomadas na Espanha, Japão e Austrália.

Internacionalmente, as leis para controlar a iluminação externa continuam crescendo. Em 2002, a República Tcheca passou uma legislação nacional para controlar a poluição luminosa.

As leis mais eficazes estabeleceram limites de brilho, requereram cobertura em quase todos os casos e criaram "toques de recolher" para a iluminação. Para ajudar as comunidades a criarem legislação significativa, a IDA e a *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) estão desenvolvendo juntas uma Lei Modelo de Iluminação (MLO, em inglês), que será apresentada em 2007. A MLO inclui um método para determinar limites no total de lumens permitidos por metro quadrado e irá indicar como, quando e onde impor toques de recolher para a iluminação (GENT, 2007).

REPÚBLICA TCHECA (HOLLAN, 2003)

A República Tcheca foi o primeiro país a aprovar uma legislação federal para resolver o problema da poluição luminosa, em 14 de fevereiro de 2002. Esta lei regula medidas que conduzirão a uma redução da poluição luminosa e afeta qualquer pessoa que tiver atividades executadas dentro de premissas e lugares especificados pela regulamentação. A lei em questão é a Lei de Proteção à Atmosfera e Emendas à Lei do Ar Puro.

Estas pessoas serão obrigadas a executar ordens da autoridade municipal pertinente e adotar medidas que previnam a ocorrência da poluição luminosa. A lei não especifica como a poluição será medida ou prevenida, mas deixa isto a cargo das autoridades locais.

De acordo com a Lei, a autoridade municipal emite regulamentos, especifica medidas ou obrigações para a prevenção ou mitigação de ocorrência

de poluição. A autoridade assegura a aplicação das medidas e é autorizada a impor multas a quem não cumprir com estas obrigações.

Uma emenda à lei foi efetuada em 2003 pelo Parlamento Tcheco com orientações adicionais às autoridades locais com meios de como a poluição deveria ser prevenida e medida.

No Capítulo I, parágrafo 1º, alínea “a”, medidas para redução da poluição luminosa. No parágrafo 2º, alínea “r”, é dada a definição de poluição luminosa, já citada neste trabalho. O item 10 do parágrafo 3º, que nos lugares onde a regra especificar áreas e lugares para a implementação de medidas contra a poluição luminosa, todos estão obrigados a obedecer as disposições das autoridades municipais. No item 12 do parágrafo 3º, diz que as regras devem especificar locais e áreas onde a poluição luminosa não é permitida, e as atividades que estão sujeitas a obrigação de acordo com o item 10, medidas no sentido de prevenir e reduzir a poluição e os valores limites.

O capítulo VI, “das medidas corretivas e penalidades”, § 40, item 10, fixa a faixa de valor da multa que pode ser imposta pela autoridade, que variam de CZK 500 (US\$ 23.00) a CZK 150,000 (US\$ 7,150.00)

O capítulo VII, “da execução de competências da administração no segmento da proteção do ar, camada de ozônio e sistema climático da Terra”, § 50 “das municipalidades”, item 1, alínea k, diz que as autoridades municipais, dentro de suas competências, podem emitir regulamentos que constituam medidas para abaixar ou prevenir a ocorrência de poluição luminosa, de acordo com § 3, art. 10, para baixar ou prevenir a ocorrência de poluição luminosa. No mesmo § 50 “das municipalidades”, item 2, alínea d, diz que é de competência das autoridades municipais a aplicação de multas quando do não cumprimento dos art. 5, § 3 e art. 10.

ESPAÑA

De acordo com comunicação pessoal com Isabel Junquera i Muriana, atualmente na Espanha existem 3 comunidades autônomas que adotaram legislações contra a poluição luminosa. Balears, com a Lei 3/2005, a Lei de proteção do meio noturno das Ilhas Balears; Navarra, com a Lei Foral 10/2005,

Legislação para iluminação para a proteção do meio noturno e Cantabria, com a Lei 6/2006, de prevenção da poluição luminosa.

Ainda pela comunicação pessoal, existe também a lei das Ilhas Canárias, Lei 31/1988, para a proteção da qualidade astronômica dos observatórios do Instituto de Astrofísica de Canárias e a da Catalunia, Lei 6/2001 e o Decreto 82/2005 que a regulamenta.

ITÁLIA

Na Europa, destaca-se a Itália como sendo o país com o maior número de Normas Reguladoras sobre a poluição luminosa. As Normas estabelecem critérios gerais e determinações técnicas para iluminação pública e privada, indica uma série de observatórios de relevância nacional e regional que devem ser protegidos, incluindo os territórios vizinhos, cuja distancia depende da importância do sítio astronômico. Prevê que os municípios em um raio de 30km do observatório devem utilizar na iluminação pública lâmpadas de vapor de sódio de alta ou baixa pressão. Estados têm normas próprias, como a Lei de Proteção do céu escuro da região de Veneto. No caso dos municípios com normas neste sentido, pode-se citar Frosinone e Firenze.

Na Itália existem muitas leis regionais contra a poluição luminosa, 14 atualmente. A Lei da região de Lazio, próxima ao *Campo Catino Observatory* funciona muito bem e recuperou em 7 anos aproximadamente 0,8 magnitudes (Mario Di Sora, President IDA *Italian Section*, comunicação pessoal).

Magnitude é a unidade usada para descrever o brilho dos objetos astronômicos. O menor valor numérico é dado para o mais luminoso. O olho humano pode descobrir estrelas para de 6^a ou 7^a magnitude na escuridão, em noite com céu limpo e longe da claridade das luzes das cidades. Em subúrbios ou cidades, estrelas podem ser visíveis a mag 2 ou 3 ou 4, devido a poluição luminosa. A escala de magnitude é logarítmica, com uma diferença de uma magnitude que corresponde a uma mudança de cerca de 2.5 vezes em brilho; uma mudança de 5 magnitudes é definida como uma mudança de exatamente 100 vezes em brilho (ASTROMANUAL, 2007).

Lombardia

A Lei contra a poluição luminosa foi aprovada em março de 2000 no território de Lombardia – Itália. O intuito desta lei é reduzir a poluição luminosa, o consumo de energia com o uso da iluminação e assim favorecer as atividades em observatórios astronômicos. Todas as instalações de iluminação externa devem ser em conformidade com as regras de anti-poluição luminosa dentro dos prazos ou face endossos administrativos de até 1.050 euros. Um sistema de iluminação é considerado com poluição luminosa se a luz se dispersar para áreas fora daquelas para qual não é dirigida ou se dirigiu acima da linha do horizonte. As autoridades municipais têm responsabilidade de assegurar que a Lei está sendo cumprida e de exigir planos de iluminação a serem adotados em um prazo de 3 anos após a legislação ter entrado em vigor e garantir que os planos sejam observados e aplicados.

O controle da iluminação pelas autoridades inclui medidas de luminância. Os fabricantes, importadores e consumidores de produtos de iluminação são responsáveis em assegurar que os produtos estejam em conformidade com a lei e com recomendações de correto uso e posicionamento.

Outras regiões da Itália também têm legislações similares.

CHILE

A Norma de Emissão para a Regulação da Poluição luminosa – D.S. 686/98 - (CONAMA, 1999) dispõe que:

O Chile (FIGURA 19) merece atenção especial por ser um dos mais importantes locais com sítios astronômicos. A região norte do Chile é reconhecida como a melhor de todo o hemisfério sul para as observações astronômicas devido à qualidade do céu noturno. A poluição luminosa no Chile é regulada pelo Decreto nº 686 que estabelece a quantidade máxima de emissão de luz permitida no céu e atribui o controle ao órgão fiscalizador *Superintendencia de Electricidad y Combustibles* (CHARRO, 2001).

Objetivo da Norma:

O objetivo da norma é proteger a qualidade astronômica dos céus do Chile nas regiões II, III e IV, mediante a regulamentação da poluição luminosa. Espera-se conservar a qualidade astronômica atual dos céus indicados e evitar o deterioramento futuro.

Critérios Básicos:

O caminho para se controlar a poluição luminosa é a redução da quantidade de luz que é emitida em direção ao céu. Esta regulamentação fundamenta-se nos seguintes critérios básicos:

-Evitar a emissão de luz em direção ao céu por meio da utilização de luminárias selecionadas e sem inclinação.

-Evitar a emissão de luz na faixa não visível pelo olho humano (espectro útil), já que este espectro de luz afeta a observação astronômica e não representa utilidade ao ser humano.



FIGURA 19 – Mapa do Chile

Fonte: CONAMA (2007)

Fontes Afetadas pela norma e quantidade máxima de emissão:

As fontes que devem cumprir a norma são as que se denominam iluminação externa. Iluminação externa é a iluminação realizada com instalações estáveis ou esporádicas, em recintos abertos, para utilização noturna. Entre elas, são consideradas, por exemplo, a iluminação de vias públicas, ornamental e de parques, instalações esportivas e recreativas, letreiros luminosos, instalações industriais, de segurança e iluminação exterior de edifícios e condomínios. Não são consideradas como iluminação de exteriores, por exemplo, a que é produzida pela combustão de gás natural ou outros combustíveis, a de veículos, as luzes de emergência necessárias para a segurança pública (nesta

norma, não se consideram fontes emissoras as indicadas no Título II – Disposições Gerais, Item 2.3, do texto da norma).

A norma contém uma limitação geral para todas as fontes emissoras, novas ou já existentes, e limitações especiais. A limitação geral das fontes emissoras estão no Item 3.1, Título III – Limites Máximos Permitidos, com uma diferenciação a partir de um determinado fluxo luminoso nominal.

A limitação especial se aplica às seguintes fontes emissoras:

- Iluminação Pública;
- Iluminação de jardins, praças e demais áreas naturais e ornamentais de edifícios e monumentos;
- Iluminação de áreas esportivas ou recreativas;
- Iluminação de avisos e letreiros luminosos;
- Iluminação com projetores a laser.

Importância da classificação das fontes emissoras, que permite definir:

- Limites máximos diferenciados;
- Horário de aplicação para determinadas fontes;
- Prazos de cumprimentos diferenciados;

Prazos de Cumprimento:

Os prazos de cumprimento da norma são distintos para as fontes emissoras existentes ou novas.

As novas fontes devem cumprir com a norma no momento de serem instaladas.

As fontes existentes devem cumprir com a norma segundo os seguintes critérios:

-Pela regra geral, as fontes existentes devem cumprir com a norma no momento que forem substituídas as luminárias, ou no mais tardar, em um prazo máximo de 5 anos, a partir de 1 de outubro de 1999.

-As fontes destinadas a iluminação pública devem cumprir com a norma no momento de serem substituídas as luminárias ou no mais tardar em um prazo máximo de 6 anos, a partir de 1 de outubro de 1999.

-As fontes que estão sujeitas aos horários de aplicação, devem cumprir com a norma no momento de sua entrada em vigência.

Controle da Norma:

As exigências serão efetivadas através da certificação de luminárias (Laboratório reconhecido pela SEC), a verificação da correta instalação das luminárias e a restrição horária para as luminárias que não cumprirem com certos requisitos de emissão.

Âmbito Territorial:

A presente norma de emissão aplica-se dentro dos atuais limites territoriais das regiões II, III e IV.

Fiscalização:

O organismo fiscalizador competente é a Superintendência de Eletricidade e Combustíveis - SEC.

ESTADOS UNIDOS

As primeiras iniciativas legislativas em poluição luminosa que surgiram nos Estados Unidos e foram pela pressão exercida pela *International Dark Sky Association*. (CHARRO, 2001).

Vários Estados americanos têm iniciativa a respeito do problema, como Arizona (*Arizona Revised Statutes*), Texas (*Texas Statutes and Codes*), Montana (*Montana Code Annotated*) e Novo México (*New Mexico Statutes Annotaed*) com medidas que devem ser aplicadas para reduzir o impacto da poluição luminosa (CHARRO, 2001).

Entre as normas municipais, pode-se citar a Lei nº 8.210, de 21 de março de 1994, da cidade de Tucson, onde são normatizados os tipos de lâmpadas, a instalação, potência, horários, entre outros; de modo a proteger atividade do Observatório Nacional de Kitt Peak e do Observatório de Mount Hopkins. A Lei distingue áreas territoriais como: a) Zonas críticas próximas a observatórios; b) Zonas residuais. As lâmpadas de vapor de mercúrio são proibidas. Também em Massachusetts, as cidades de Townsend e Plymouth aprovaram em 1997 a Lei a respeito do tema e que proíbe toda iluminação acima do horizonte, impondo a modificação das luminárias públicas e privadas, por outras que evitem a poluição luminosa (CHARRO, 2001).

Exemplos como Connecticut, Maine e Pennsylvania adotaram legislações designando limites para poluição luminosa em iluminação externa ou outras instalações. As razões para essas medidas é a conservação de energia, a redução do ofuscamento que resulta em risco para o tráfego e um desejo de permitir as pessoas terem uma visão melhor do céu noturno (HOUSE OF COMMONS, 2003), como é descrito a seguir:

Connecticut

A lei ordena que todo o sistema de iluminação em rodovias financiado pelo Estado devem ser projetadas para o máximo de conservação de energia, mínimo ofuscamento e o excesso de luz e fornecer a quantidade mínima de luz necessária para esta finalidade. Os fundos públicos podem ser usados somente se o Departamento de Transporte determinar que a iluminação necessária não pode ser substituída por outros meios, como uma redução do limite de velocidade na área ou instalando iluminação passiva, que é a instalação de refletores, sinais informativos e de advertência. Lâmpadas com capacidade de 1800 lumens (luz produzida por lâmpadas de 125W) ou mais, na condição secundária e serviços especiais em auto-estradas devem ser projetados para prevenir iluminação acima da luminária (equipados com luminária *cut-off*), mas não deve ser aplicado em serviços de segurança.

O chefe do departamento de transporte pode exigir documentos quando achar necessário, descrevendo o planejamento de iluminação e esforços para aplicação para satisfazer com o requerimento e incluindo outras informações. Em uma requisição de vistoria, o chefe do departamento deve considerar os projetos de segurança, os custos e outros fatores que considerar apropriado.

Maine

A lei aplicada é para todo o sistema de iluminação pública de Maine e veda o uso de fundos públicos para a instalação ou troca de sistemas de iluminação externos que excedam o limite mínimo recomendado pela *Illuminating Engineering Society of America* ou pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos. Em Maine, sistemas externos de 1.800 lumens devem ser projetados para que não emitam luz para cima. No caso das auto-estradas, a iluminação somente é permitida quando as medidas de não iluminação não

conseguirem o resultado desejado. O chefe de departamento das auto-estradas deve considerar a minimização do ofuscamento e da luz intrusa. A exceção à exigência acontece quando houver conflito com alguma lei federal ou o diretor da repartição publica determinar que é um serviço de segurança, sendo assim, não há a aplicação da lei.

Pennsylvania

A lei aplicada na Pennsylvania é para todo o sistema de iluminação pública externa e ordena a utilização de sistema *cut-off* acima de 1.800 lumens. Os sistemas de iluminação devem ser baseados no mínimo nível de iluminação recomendado pela *Illuminating Engineering Society of America* ou pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos, geralmente considerando a obrigação de evitar a poluição luminosa e a luz intrusa.

A exceção a lei é quando houver conflito com alguma lei federal, bombeiros, polícia e resgate, emergências ou reparo onde é necessário iluminação provisória, pedidos especiais (eventos esportivos) e substancial trafego de pedestres em grande período noturno.

2.6.2. NO BRASIL

A legislação brasileira com relação a poluição luminosa é pequena. Das referências coletadas, teve-se conhecimento de apenas 3 legislações: IBAMA, Campinas e Caeté, que serão apresentadas a seguir.

PORTARIA IBAMA Nº 11, DE 30 DE JANEIRO DE 1995

As tartarugas marinhas ficaram muito tempo ameaçadas de extinção no Brasil e no mundo (Portaria IBAMA, nº 1522, de 19/12/1989). Para proteger estas espécies foi criada a lei que viabiliza a proteção destas espécies em determinadas áreas de desova, alimentação e outras, onde possa haver comprometimento de ovos, de filhotes ou de tartarugas adultas. Tendo em vista que há inúmeros fatores que ameaçam a preservação das tartarugas marinhas, o Projeto TAMAR estabeleceu alguns pontos frágeis a serem trabalhados em sua trajetória (GODOY, 2003).

A iluminação artificial causada pela expansão urbana e o desenvolvimento, principalmente das áreas litorâneas, intensificaram a iluminação nas áreas de desovas. Essa incidência de luz afugenta as tartarugas que vêm para a desova e desorienta os filhotes que, atraídos por luzes artificiais, afastam-se do mar. Por isso, o projeto Tamar conseguiu aprovar leis que impedem a instalação de novos pontos de luz em áreas de desova, pela Portaria do Ibama nº 11, de 30 de janeiro de 1995 e a Lei Estadual da Bahia nº 7034, de 13 de fevereiro de 1997 (GODOY, 2003).

Hoje, o Ibama faz uma campanha para a substituição das luminárias convencionais por outras que não incidam luz diretamente nas praias e comprometam a desova, os filhotes e as tartarugas. (GODOY, 2003).

A Portaria do IBAMA nº 11, de 30 de janeiro de 1995 considera os seguintes fatores:

- a necessidade de proteção e manejo das tartarugas marinhas no Brasil;
- preservação permanente das florestas e demais formas de vegetação natural situadas nas restingas, nos termos da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, no seu art. 2º alínea “f”;
- considerando que a Lei nº 7661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, prevê no seu art. 3º o zoneamento de usos e atividades na zona costeira e dá prioridade e conservação e proteção, entre outros bens, das restingas, dunas e praias;
- que em algumas praias primordiais para a manutenção das populações de tartarugas marinhas estão se implantando projetos de desenvolvimento urbano;
- que o IBAMA, através do Centro Nacional de Conservação e Manejo das Tartarugas Marinhas - Centro TAMAR, desenvolve atividades para conservação e manejo das tartarugas marinhas nestas áreas;
- que as fêmeas matrizes de tartarugas marinhas se desencorajam a realizar postura na presença de iluminação direta e de outras perturbações;
- que as luzes de edificações próximas à praia, de iluminação pública, de veículos e outras fontes artificiais interferem potencialmente na orientação de filhotes recém-nascidos no seu trajeto praia/mar; e

- que as alterações ambientais desta ordem criam impactos irreversíveis sobre o êxito do aninhamento.

E de acordo com os fatores acima, proíbe em seu art. 1º qualquer fonte de iluminação que ocasione intensidade luminosa superior a zero lux, numa faixa de praia compreendida entre a linha de maior baixa—mar até 50 m (cinquenta metros) acima da linha de maior preamar do ano (maré de sizígia), em diversos locais da costa brasileira onde existam sítios reprodutivos de tartarugas.

O TAMAR, em conjunto com a companhia de energia elétrica local, em cada um dos sítios reprodutivos deve:

- identificar as áreas que necessitem de adequações;
- estabelecer, em cada área, os critérios técnicos para adequação da iluminação já existente, com objetivo de mitigar as interferências ao fenômeno reprodutivo das tartarugas marinhas;
- fiscalizar estas áreas, acompanhar os projetos de iluminação e de adequação da iluminação e emitir pareceres técnicos avaliando a execução destes projetos;
- deliberar sobre aspectos técnicos e áreas não especificadas na Portaria do IBAMA nº 11.
- fixar aos infratores da Portaria do IBAMA nº 11 às penalidades e sanções previstas em legislação específica.

LEI MUNICIPAL Nº 10.850 DE 07 DE JUNHO DE 2001 – CAMPINAS/SP

O Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini – OMCJN, ligado à Secretaria Municipal de Cultura, Esportes e Turismo da Prefeitura da Cidade de Campinas/SP, foi inaugurado em 15 de janeiro de 1977, e é considerado o primeiro Observatório Municipal do País, denominado então como Estação Astronômica de Campinas. Desde o seu início, o Observatório desenvolve um trabalho permanente com o público em geral, e em particular com estudantes, levando o conhecimento astronômico ao maior número possível de pessoas. Suas ações abrangem atividades educativas, de divulgação e pesquisa astronômica (CAMPINAS, 2007).

A Lei Nº 10.850 de 07 de junho de 2001, publicada no DOM (Diário Oficial Municipal) de 08/06/2001, cria a área de proteção ambiental - APA - do município de Campinas, área esta onde se localiza o Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini- Observatório de Capricórnio.

Em seu art. 3º, diz que constituem diretrizes gerais para alcançar os objetivos de criação da APA Municipal:

XII. o monitoramento das atividades instaladas ou a se instalar no entorno do Observatório Municipal - OMCJN - OC, com base em critérios definidos nesta lei, de maneira a garantir suas condições de operacionalidade e visibilidade;

XXIV. a integração da PMC (Prefeitura Municipal de Campinas) com as Prefeituras dos municípios vizinhos visando a adoção das normas aqui propostas em áreas limdeiras à APA Municipal, principalmente quanto às restrições relativas ao Observatório Municipal e aos mananciais hídricos dos Rios Atibaia e Jaguari.

O art. 4º da presente lei subdivide a APA em cinco zonas ambientais, e dentre as cinco, destaca-se a Zona de Uso Turístico caracterizada por apresentar potencial turístico devido a seus atributos naturais, existência de patrimônio histórico arquitetônico e a presença do Observatório Municipal, para a qual o município pretende garantir o ecoturismo visando despertar o desenvolvimento de atividades científicas, educativas e de lazer, podendo representar um importante incremento de recursos econômicos para a região.

Descreve o art. 9º, em seu Inciso X, que deverá ser observada a diretriz geral para Zona de Uso Turístico, devendo obedecer aos critérios, restrições e cuidados estabelecidos nesta lei, necessários à adequada operação do Observatório Municipal.

A Seção VII estabelece critérios diretos ao Observatório Municipal:

Art. 83 - Ficam estabelecidos os seguintes critérios cumulativos, prevalecendo sempre o mais restritivo, de forma a garantir as condições de operacionalidade e visibilidade do Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini - Observatório de Capricórnio:

I. até o raio de 10 km (dez quilômetros) ficam proibidas:

a) a iluminação que não seja provida de anteparo de direcionamento para baixo, a fim de evitar interferências nas observações ocasionadas pela denominada "luz parasita";

b) a implantação de iluminação pública na rodovia estadual SP-81 e demais estradas e caminhos nas proximidades;

c) a implantação de quaisquer tipos de propaganda luminosa;

II. até o raio de 5 km (cinco quilômetros) ficam proibidos:

a) a utilização de explosivos e a exploração mineral de rochas para talhe e cantaria e/ou ornamental, a fim de evitar vibrações com as explosões e liberações de material particulado;

b) sistemas de iluminação externa com altura superior a 4 m (quatro metros), e com grande poder de luminosidade, como os utilizados em quadras esportivas, mesmo quando providos de anteparo de direcionamento para baixo;

c) a iluminação externa às edificações com lâmpadas a vapor de sódio e mercúrio;

d) a implantação de quaisquer edificações ou empreendimentos para fins urbanos, inclusive hotéis, clubes, recintos para festas e/ou exposições, e outros, assim como a realização de espetáculos ao ar livre durante o período noturno, com o objetivo de evitar concentrações luminosas e aumento do fluxo de veículos;

e) a utilização de fogos de artifício para espetáculos pirotécnicos;

f) a abertura de novas estradas ou vias.

III. até o raio de 2 km (dois quilômetros) ficam proibidos:

a) sistemas de iluminação externa com altura superior a 3 m (três metros), mesmo quando providos de anteparo de direcionamento para baixo;

b) iluminação externa às edificações com lâmpada do tipo fluorescente;

c) implantação de iluminação pública e asfaltamento nas vias existentes (vicinais, estradas secundárias e similares);

d) instalação de novas torres de transmissão de alta tensão e de retransmissão de sinais, bem como caixas d' água com altura superior a 7 m (sete metros);

e) trânsito de veículos automotores com farol em luz alta.

IV. até o raio de 1 km (um quilômetro) ficam proibidos:

a) sistemas de iluminação externa às edificações com altura superior a 2,5 m (dois metros e meio), mesmo quando provido de anteparo de direcionamento para baixo;

b) a permanência de veículos estacionados com faróis ligados.

V. até o raio de 300 m (trezentos metros) deverão ser observadas as restrições da Resolução nº 15 de 1994 do CONDEPACC que, entre outras providências, proíbe qualquer tipo de edificação ou iluminação nos terrenos inseridos nesta área.

LEI MUNICIPAL DE CAETÉ-MG

O Observatório Astronômico da Serra da Piedade, localizado na Serra da Piedade, na cidade de Caeté e ligado a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG foi inaugurado em 1973, abriga atividades de formação de pesquisadores e educadores e visitas orientadas de turmas escolares. O Observatório é aberto a visitação pública e conta com dois telescópios profissionais e 14 amadores.

Em comunicação pessoal com o Prof. Rodrigo Dias Tarsia, que na época da criação da lei era diretor do Observatório, informou que entrou em contato com a assessoria do prefeito de Caeté, no sentido de conseguir uma cópia da lei, mas não foi encontrada nenhuma cópia da legislação nos arquivos. Os documentos referentes à criação da lei que estavam na UFMG também não foram encontrados, inclusive os enviados pela *International Darksky Association*, que na época estava iniciando as atividades.

Segundo o Prof. Rodrigo Dias Tarsia, a legislação foi aprovada pela Câmara de Caeté próximo ao ano de 1982, e que até o último ano (1993) em que ele foi Diretor do Observatório, a lei era respeitada e funcionava muito bem, pois todas as modificações a serem efetuadas nos sistemas de iluminação eram previamente consultadas com a direção do Observatório antes de serem efetuadas. As luminárias instaladas eram providas de proteção para evitar a dispersão de luz para o céu e eram sempre orientadas no sentido oposto ao do Observatório (em relação ao poste), sempre para proteger o Observatório no máximo possível. Na análise feita pelo ex-Diretor, até hoje,

próximo ao Observatório, a lei é respeitada. Outros locais não tão próximos da Serra da Piedade onde o Observatório se localiza não obedecem à lei.

A criação da lei iniciou-se com cartas, documentos e catálogos, enviados pelo americano David Crawford, um dos fundadores da *International Darksky Association*, que enviou uma série de informações sobre lâmpadas e luminárias. Logo após isso, foi feito um acordo entre a Prefeitura de Caeté, a FEAM, a CEMIG e o Observatório para fixar padrões, de onde foi feita uma ata com os detalhes. Dez anos após esse acordo, para que um condomínio localizado próximo ao Observatório fosse expandido, os proprietários do condomínio procuraram a CEMIG, que sabendo do acordo procurou a direção do Observatório. Assim, o prefeito da época, Jair de Carvalho, propôs a criação de uma lei que fixasse padrões de iluminação. A lei foi baseada nos dados do acordo, que foi constado na ata da reunião entre a Prefeitura de Caeté, a FEAM, a CEMIG e o Observatório. Logo após a aprovação da lei, foi enviado ao ex-Diretor do Observatório uma cópia da ata da aprovação da lei pela Câmara de Caeté. Tal lei impunha às novas mudanças dos sistemas de iluminação de Caeté, ou uma nova instalação, deveria ser com o uso de luminárias que só direcionassem a luz para baixo, e nunca para cima.

ABNT

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro.

A Lei nº 4.150 / 62 institui o regime obrigatório de preparo e observância das normas técnicas nos contratos de obras e compras do serviço público de execução direta, concedida, autárquica ou de economia mista, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas e dá outras providências.

Algumas normas da ABNT padronizam materiais que podem resultar na diminuição da poluição luminosa, tais como:

- ABNT NBR 5101 / 1992 - Iluminação Pública - Fixa requisitos mínimos necessários à iluminação de vias públicas, os quais são destinados a propiciar algum nível de segurança ao tráfego de pedestres e veículos;

- ABNT NBR 5181 / 1976 – Iluminação de túneis;
- ABNT - NBR IEC 60598 / 1999 - Luminárias;
- ABNT - NBR 15129/ 2004 - Luminárias para iluminação pública;
- ABNT NBR - IEC 60662 / 1997 - Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão;
- ABNT NBR IEC 1167 – Lâmpadas a vapor metálico;
- ABNT NBR – 13593 / 2003 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão;
- ABNT NBR - 5123 / 1998 - Relé fotoelétrico e tomada para iluminação;
- Outras : Postes, lâmpadas a vapor de mercúrio, capacitores, conectores, etc.

ISO 14001

Conforme comunicação pessoal com o consultor ambiental Ivo Neves com relação a ISO 14001 e a poluição luminosa tem-se:

"A ISO 14001 objetiva estabelecer um padrão internacional para gestão de meio ambiente em organizações públicas e privadas, dos diversos seguimentos de mercado. Sua estrutura, baseada em um ciclo P-D-C-A (Plan-Planejar, Do-Fazer, Check-quecar e Action-Agir) e com o foco na melhoria contínua, possibilita a qualquer organização tratar o tema ambiental de forma profissional.

Dentre os diversos aspectos ambientais gerenciáveis, tais como os resíduos sólidos, os efluentes industriais, as emissões atmosféricas, pode-se citar também a poluição luminosa. Este tipo de aspecto é pouco citado nos Sistemas de Gestão Ambiental brasileiros, já que existem poucos diplomas legais leis que regem itens mínimos de atendimento.

Como exemplo de diploma legal, tem-se a Portaria Ibama nº 11 de 30/1/95 que descreve limites/práticas a serem seguidas. Estes devem ser contemplados no caso de implantação de Sistema de Gestão Ambiental a que elas se apliquem.

A ISO 14001 busca abranger todas as situações que possam interagir de forma negativa ao meio ambiente e propor atividades de gerenciamento cabíveis. No caso da poluição luminosa, que afeta o comportamento de

animais e seus hábitos, a ISO 14001 pode colaborar na minimização destes impactos."

2.7. RESULTADOS OBTIDOS COM O CONTROLE DA POLUIÇÃO LUMINOSA NO MUNDO

Apesar de vários locais terem implementado leis e regulamentações para combater a poluição luminosa, apenas alguns dados são encontrados na literatura sobre os resultados obtidos. De acordo com HOLLAN (2003), o declínio da poluição luminosa ocorrerá somente após todos os sistemas de iluminação antigos forem reconstruídos obedecendo as leis. Portanto, um melhoramento em larga escala só poderá ser observado após dez anos ou mais.

Os resultados foram divididos por locais onde foram aplicadas medidas para combater a poluição luminosa.

2.7.1. EUROPA

ITÁLIA

A Itália decretou legislações contra poluição luminosa em 9 de 20 regiões, sendo que as leis da Lombardia e Lazio são especialmente notáveis. Em Roma, a organização que administra a iluminação pública (ACEA) tem o compromisso de trocar 100.000 lâmpadas até 2010, com intuito de reduzir o brilho do céu noturno, poluição luminosa e consumo energético (CINZANO, 2002). Como foi descrito anteriormente, o grupo italiano do Prof. Cinzano foi o primeiro a publicar um Atlas mundial do brilho do céu noturno. A seguir são comentados os resultados de medidas que foram tomadas em dois locais da Itália.

PROVÍNCIA DE FROSINONE (ITÁLIA):

É uma das áreas com maior concentração de torres da Itália que adotou algumas regulamentações para minimizar os problemas de poluição luminosa. A luta contra a poluição luminosa na Itália começou nesta Província.

As intervenções foram divididas em 5 fases (DI SORA, 2002):

Fase 1: a) Publicação de regulamentos; b) liberação dos impressos com os regulamentos; c) notificação a todos aos vendedores de material elétrico para afixarem as regulamentações em suas lojas; d) distribuição de informativos para o público em geral, instituições privadas e organizações profissionais.

Fase 2: reconhecimento de todos os sistemas de iluminação ao ar livre públicos e seleção daqueles que precisavam ser modificados, começando das fontes mais poluentes (mais tarde foram feitos os privados).

Fase 3: modificação e substituição de sistemas de iluminação em desacordo com a regulamentação do município. Para os sistemas de iluminação de outras instituições, pública ou privada, uma carta foi enviada com uma planilha contendo: a) o tipo de irregularidade verificada; b) sugestões para eliminar o problema; c) disponibilização de pessoal técnico especializado.

Fase 4: Sanções administrativas se os regulamentos não fossem cumpridos. Se necessário uma rápida consultoria poderia ser dada na câmara da cidade.

Fase 5: Verificação final do sistema para sua aprovação ou pedido para melhoramento.

Metas atingidas e critérios de ação:

Em Frosinone e Ferentino as modificações começaram oficialmente em Junho de 2000. Foram reduzidos aproximadamente 28 milhões de lumens em Frosinone e 12 milhões em Ferentino.

As modificações nas instituições públicas foram as seguintes:

Prédio da Administração da Província (esferas brancas): 90.000 lumens

Prisão (lâmpadas de rua e *spot lights*): 2.090.000 lumens

Departamento de veículos: 32.400 lumens (redução energética de 40%).

Aeroporto militar: 100.000 lumens

Estação Ferroviária: 350.000 lumens

Escola Superior Técnica: 160.000 lumens

Hospitais: 336.000 lumens

Sistema de depuração pública ASI: mudança estrutural com redução no poder de 53 luminárias de 400W Na⁺ para 150W de Na⁺ e 25 luminárias de 250W Hg para 150W Na⁺.

Com estas alterações, cerca de 175.000 lumens a menos foram direcionados ao céu. O consumo de energia diminuiu de 27,45kW/h para 15,75kW/h, com uma redução adicional de 50% após as 23:00 horas. A conta de energia elétrica reduziu de 12.913 euros para 3.711. O custo para implantação do sistema foi de 8.780 euros em 2001 e foi pago em um ano.

LOMBARDIA (ITÁLIA):

Conforme a Lei nº 17 de 27 de março de 2000, algumas medidas anti-polução luminosa foram tomadas nesta região e citadas abaixo (BONATA, 2002):

- No ano de 2002 quase todas as pessoas fizeram sistemas que não emitissem acima de 90°, respeitando as regras técnicas.
- Os sistemas de iluminação foram planejados para emitir uma intensidade máxima de 0cd/klm em um ângulo de 90° para atingir um nível de consumo energético reduzido e aperfeiçoar as condições espaciais.
- Os sistemas de iluminação foram planejados com uma luminância média não maior que os níveis mínimos requeridos pelas regras padrão de segurança e com maior coeficiente de utilização.
- Mais de 1400 municípios foram registrados com documentos técnicos, formativos e informativos.
- 3 folhetos informativos da região da Lombardia, Província de Lecco e Varese, e alguns artigos em periódicos locais e regionais e nos jornais diários foram publicados.
- Planilhas com planos de iluminação, guias de planejamento, regulamentações visuais foram preparadas e distribuídas gratuitamente.

Metas atingidas:

Nas ruas houve uma redução de 3-10% do fluxo de luz para o céu para 0-0,5 cd/klm de intensidade. O fornecimento da cidade de 15-30% foi para 0-15 cd/klm.

REPÚBLICA TCHECA

A República Tcheca foi a primeira nação do mundo a aprovar uma lei contra a poluição luminosa que foi aplicada em todo território.

Em um artigo de HOLLAN (2003), foi relatado que ocorreu uma redução no consumo energético da iluminação e o depoimento das pessoas que o ambiente noturno está bem mais agradável, incluindo o céu.

Diversas buscas por dados foram realizadas, mas infelizmente não se conseguiu nenhum dado mais concreto da situação na República Tcheca. Uma outra forma de se buscar dados foi através de comunicação com o Dr. Jan Hollan que não respondeu a nenhum dos e-mails enviados a ele.

Foi também encaminhado um e-mail para o Departamento de Meio Ambiente da República Tcheca, que em resposta ao pedido de dados sobre a situação da poluição luminosa, indicou e encaminhou o e-mail ao Dr. Jan Hollan, que também novamente não respondeu.

HUNGRIA

A poluição luminosa é um problema que vem aumentando na Hungria. Para prevenir o crescimento da degradação da visualização do céu noturno uma associação foi feita entre astrônomos profissionais e amadores e engenheiros no ano de 2000 (KOLLÁTH, 2002).

As estratégias adotadas foram:

- Palestras e artigos sobre poluição luminosa para os engenheiros de iluminação.

- Acordo com o Colégio Técnico de Budapeste: na Hungria a única universidade em que os engenheiros são treinados é o Colégio Técnico de Budapeste. Existe uma aula obrigatória para os engenheiros elétricos intitulada “Proteção ambiental industrial” e o tópico poluição luminosa foi incluído.

- Foram publicados artigos em revistas e jornais científicos e foram dadas palestras para os habitantes do país. Um programa de 1 hora em uma rádio pública central foi dedicada ao tema poluição luminosa.

- No encontro de professores e estudantes de física o tema poluição luminosa foi o tópico principal.

- 16.000 luminárias de com lâmpadas de mercúrio de 250W foram trocadas nas estações ferroviárias da Hungria por lâmpadas de sódio de 150W.

Metas atingidas:

Com a reconstrução do sistema de iluminação das estações ferroviárias houve uma redução de 40% no consumo de energia elétrica. As ferrovias estão bem mais iluminadas, os passageiros e os trabalhadores da ferrovia estão mais satisfeitos com a ferrovia e a estação ferroviária iluminada de forma segura. A economia foi maior que 1 milhão de euros por ano. O custo total da reconstrução foi recuperado em 3 anos.

O custo das luminárias de boa qualidade foi reduzido significativamente devido a competição entre os vendedores.

ILHAS CANÁRIAS

Em 1988 a lei 31/88 referente a proteção da qualidade astronômica dos observatórios IAC conhecida como “Lei dos céus das Canárias” foi votada e em 1992 as regulamentações desta lei foram aprovadas. Desde então vários projetos e melhoria das instalações foram implantadas (CASTRO & LA PAZ, 2003):

- Restrição do uso das lâmpadas de vapor de sódio nas ruas.
- Um tipo de lâmpada foi permitido até a meia noite em áreas de pedestres, jardins, fachadas de monumentos, áreas recreativas e esportivas.
- Laser e projetores de luz foram proibidos.
- Avisos luminosos não podem usar lâmpadas de descarga de alta pressão e elas são desligadas após a meia noite.
- Somente iluminar o que é necessário;
- Correção nos níveis de iluminação;
- Lâmpadas mais eficientes para cada situação;
- Desligar todos os tipos de iluminação que não são para segurança da população, tais como, monumentos, luminosos e fachadas.

Metas atingidas: (CASTRO, 2006).

Na TABELA 4 é mostrada a situação antes e depois da implantação de medidas para o combate da poluição luminosa no aeroporto de Los Rodeos:

TABELA 4 – Implantação de medidas em Los Rodeos.

Fatores	Antes	Depois
Projetores com lâmpadas	42 de 2000W/mercúrio	40 de 750W/sódio de alta pressão
Lumens instalados	7,56 M lumens	4,4 M lumens
Potência instalada	84 kW	30 kW
Consumo anual de energia	368 MWh/ano, a um custo de 33169 euros/ano	80 MWh/ano, a um custo de 7212 euros/ano
Duração das lâmpadas de vapor	1 ano (mercúrio)	4 anos (sódio)
Custo anual de reposição (aproximado)	12621 euros	1202 euros

- Instalado sistema de redução de iluminação após as 23h com a implementação das medidas: 40x340W=13600W

Na TABELA 5 é mostrada a situação antes e depois da implantação de medidas para o combate à poluição luminosa na Plaza de Europa:

TABELA 5 – Implantação de medidas na Plaza de Europa.

Fatores	Antes	Depois
Projetores com lâmpadas	44 de 125W/mercúrio	44 de 100W/sódio de alta pressão
Lumens instalados	286 klumens	418 klumens
Potencia instalada	6 kW	5 kW
Consumo anual de energia	26 MWh/ano, a um custo de 2369 euros/ano	11 MWh/ano, a um custo de 999 euros/ano

- Sistema de redução de iluminação após a 0h quando $\frac{3}{4}$ das lâmpadas são apagadas.
- O ideal seria o uso de lâmpadas de vapor sódio de alta pressão de 1x50W para obter o mesmo nível de iluminação.

Na TABELA 6 é mostrada a situação antes e depois da implantação de medidas para o combate da poluição luminosa em Barlovento:

TABELA 6 – Implantação de medidas em Barlovento.

Fatores	Antes	Depois
Lâmpadas	168 de 100W/sódio de alta pressão	68 de 30W/sódio de baixa pressão
Lumens instalados	8550 lumens	4800 lumens
Eficiência	50%	67%
Fluxo de luz direcionado para o céu	35%	0%
Fluxo de luz direcionado para o solo	65%	100%

- Total de redução de fluxo para o céu (poluição): 84,8%
- Total de redução de fluxo para o chão (iluminação): 3,6%
- Total de economia no consumo de energia: 65%

2.7.2. AMÉRICA

Na América, a referência em legislação e controle contra a poluição luminosa é do Chile, tendo em vista que os maiores telescópios da América estão instalados nesse país.

CHILE

O Chile apresenta uma legislação nacional para o controle da qualidade da iluminação e minimizar gasto energético e o brilho no céu noturno. As principais medidas para redução da poluição luminosa implementadas no Chile no final da década de 90 foram a convergência da luz para o solo e não para o céu, uso de lâmpadas mais eficientes como as vapor de sódio de alta e baixa pressão e redução de luzes desnecessárias. No norte do Chile, locais próximos aos principais observatórios do país estão sendo beneficiados por essas medidas (SANHUEZA & SANTANDER, 2003).

Monte Pátria foi o primeiro município chileno a cumprir 100% com o Decreto Supremo 686. Foram trocadas 3700 luminárias, sendo observada melhorias na segurança pública. Foi instalado um sistema que reduz o consumo em 60%, e a emissão de luz em 36%, após 4 horas de uso. A economia de energia foi de US\$ 150,000/ano.

Metas atingidas:

Na TABELA 7 é mostrada a situação antes e depois da implantação de medidas para o combate da poluição luminosa (Norma DS686) na cidade de Vicunha:

TABELA 7 – Implantação de medidas em Vicunha

Fatores	Antes	Depois
Nível de iluminação	7.800 k lumens	8.900 k lumens (+48%)
Potência Instalada	210 kW	110 kW (-48%)
Fluxo de luz direcionado para o céu	24 kW	1,1 kW (-95%)

Fonte: Adaptado de CASTRO, (2006)

- Foram modificados/trocados 1.534 luminárias.
- Na Avenida Las Delícias houve uma redução de 50% no consumo energético.

Na TABELA 8 é mostrada a situação antes e depois da implantação de medidas para o combate da poluição luminosa (Norma DS686) na cidade de La Serena:

TABELA 8 – Implantação de medidas em La Serena.

Fatores	Antes	Depois
Nível de iluminação	32 M lumens	58 M lumens (+68%)
Potência Instalada	810 kW	660 kW (-19%)
Fluxo de luz direcionado para o céu	161 kW	11,7 kW (-93%)

Fonte: Adaptado de CASTRO, (2006)

- Foram modificados/trocados 5.692 luminárias e foram colocadas 469 novas.

ESTADOS UNIDOS

No ano de 1992-93, a cidade de Tucson, no Arizona, trocou as lâmpadas de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio. Cerca de 40.000 lâmpadas foram instaladas direcionadas para o solo, reduzindo o brilho no céu noturno e reduzindo os custos em cerca de 2 milhões de dólares (IDA, 2006).

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste estudo, a metodologia aplicada para o desenvolvimento do mesmo foi através de pesquisas bibliográficas referentes ao tema, conforme é descrito na FIGURA 20.

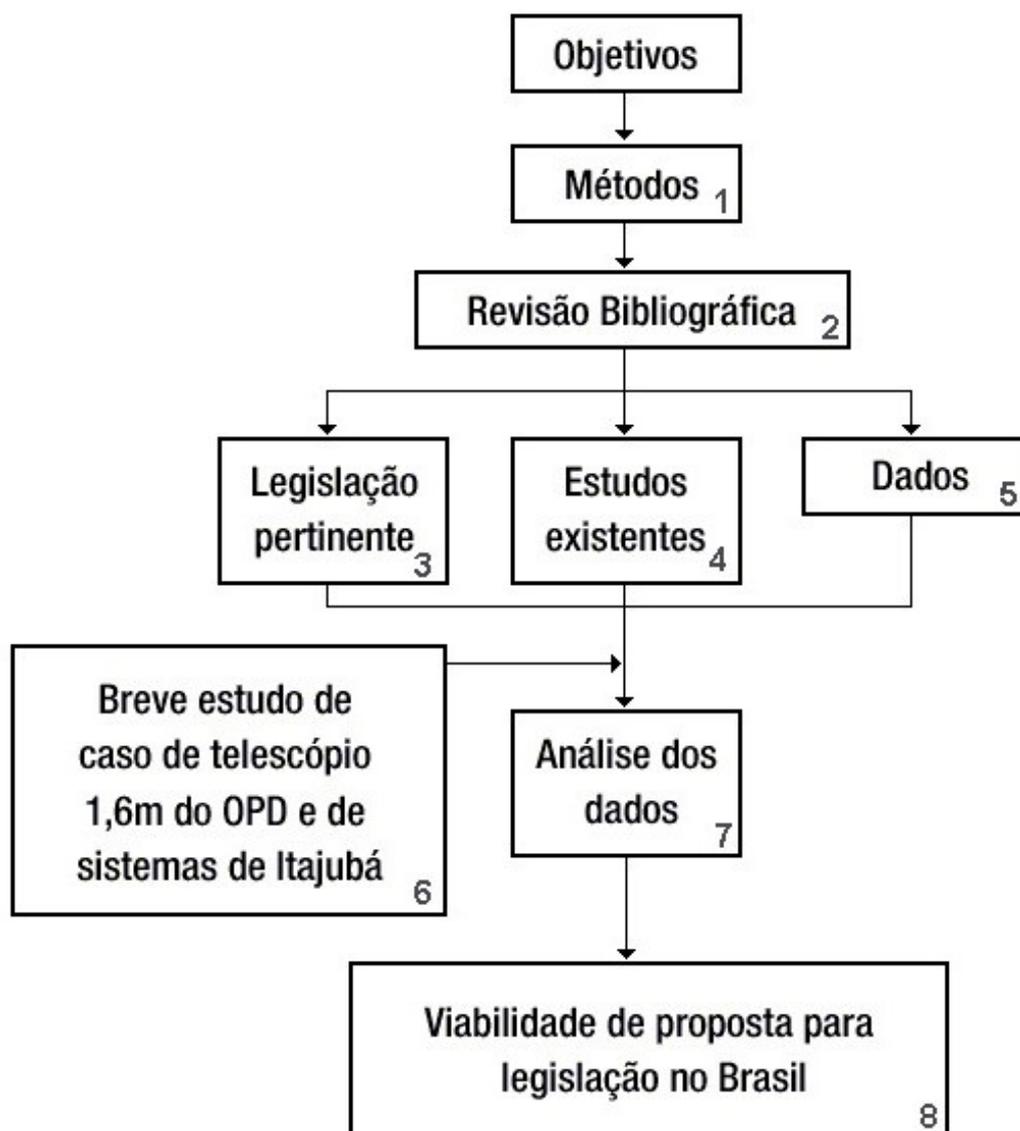


FIGURA 20 - Fluxograma do Método.

Os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa são:

- bibliografias referente ao tema (livros, materiais impressos, publicações na Internet, dissertações, seminários);
- legislações de países que adotaram sistema de controle contra a poluição luminosa;
- entrevistas com especialistas no assunto.

Conforme indicado na FIGURA 20, o detalhamento do método utilizado consiste em:

(1) O método utilizado na presente pesquisa é a revisão bibliográfica sobre o tema poluição luminosa.

(2) A revisão bibliográfica inicia-se com um breve histórico sobre a luz, descreve as informações sobre a poluição luminosa, onde são abordados os tipos e vários importantes impactos da poluição luminosa. Aborda também o uso racional da iluminação, onde são descritas as características das lâmpadas, luminárias e equipamentos auxiliares, apresentando o espectro dos diversos tipos de lâmpadas utilizadas, tabela comparativa de lâmpadas em diversos aspectos e normas para a utilização de luminárias.

(3) Descrição da legislação de diversos países onde existe o controle da poluição luminosa. Da pesquisa realizada, as normas encontradas no Brasil tratam de assuntos ambientais e astronômicos. Também são abordadas algumas normas existentes no Brasil.

(4) Apresentação de estudos de implantação da legislação relativa ao tema em diversos países.

(5) Resultados obtidos através da aplicação da lei apresentados através de aspectos técnicos, onde se pode comprovar a mudança nos sistemas de iluminação e os ganhos por ela realizados.

(6) Apresentação de um breve estudo sobre o Observatório do Pico dos Dias (OPD) e do sistema de iluminação da cidade de Itajubá, com a apresentação de alguns dados.

(7) Análise dos dados por meio da revisão bibliográfica, do estudo de caso e seus impactos.

(8) Através da análise realizada é verificada a viabilidade ou não da proposição de um anteprojeto de lei relativo a poluição luminosa para o Brasil no sentido de que sejam fixados padrões a serem seguidos para diminuir o impacto e fazer uso mais eficaz dos sistemas de iluminação.

3.1. Caracterização da área de estudo – Observatório do Pico dos Dias (OPD)

O Laboratório Nacional de Astrofísica - LNA é uma das unidades de pesquisa integrantes da estrutura do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. Foi o primeiro Laboratório Nacional implementado no Brasil em 1985 e, desde então, seu modelo tem sido aperfeiçoado. A sede do Laboratório Nacional de Astrofísica - LNA está localizada na cidade de Itajubá, no sul do estado de Minas Gerais.

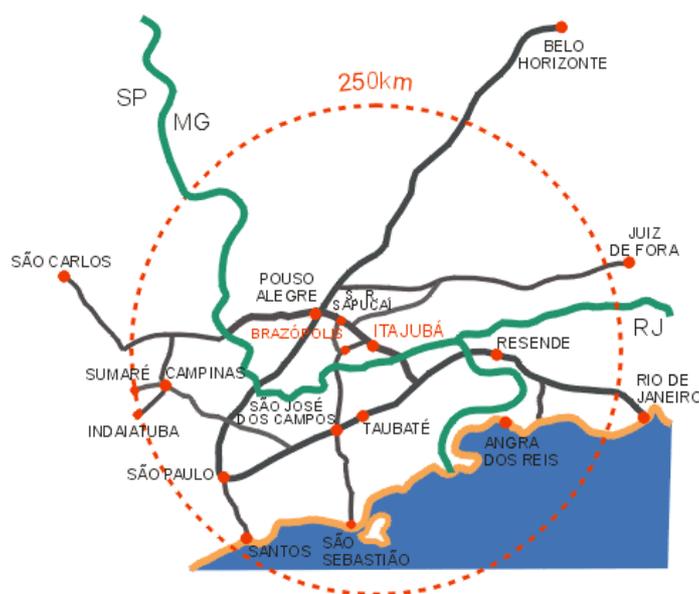


FIGURA 21 – Mapa de localização das cidades de Itajubá e Brazópolis.

Fonte: LNA, (2007)

O Laboratório Nacional de Astrofísica - LNA opera o Observatório do Pico dos Dias - OPD, localizado entre os municípios sul-mineiros de Brazópolis (37km da cidade de Itajubá, 18 km em linha reta) e Piranguçu, a 1864m de altitude, 900m acima do nível médio da região, nas coordenadas geográficas, Longitude: 45° 34' 57"W e Latitude: 22° 32' 04"S, conforme é mostrado no mapa de localização das cidades na FIGURA 21.

Na FIGURA 22 é mostrada uma foto aérea do Observatório do Pico dos Dias onde está localizado o telescópio Perkin-Elmer de 1,6 m de diâmetro. Além dele, existem mais 3 telescópios menores, dois telescópios de 0,60 m de diâmetro e um de 0,40 m de diâmetro.



FIGURA 22 – Vista aérea do Observatório do Pico dos Dias.

Fonte: LNA, (2007).

Na FIGURA 23 é mostrado o principal telescópio do OPD, o Perkin-Elmer, o maior telescópio do Brasil instalado em solo brasileiro.



FIGURA 23 – Telescópio 1,6m Perkin-Elmer.

Fonte: LNA, (2007)

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E ANÁLISES

De acordo com a Constituição Federal de 1988 em seu Art. 225 – “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Por este artigo, a CF/88 reconheceu a existência do Direito Ambiental, que é diretamente ligado ao direito à vida, direito este de cada cidadão.

Sendo assim, este é um direito assegurado pela Constituição Federal e cabe ao Poder Público zelar por um meio ambiente adequado, visando à qualidade de vida da pessoa humana, que é a destinatária deste direito. Deste modo, deve-se estender a excessiva quantidade de iluminação artificial a este tipo de proteção ambiental. Deste meio ambiente fazem parte todos os recursos naturais que são determinantes a existência do ser humano; a água, o solo, o subsolo, a atmosfera, a flora, a fauna. E por que não o céu e as estrelas? Visto que os recursos naturais, numa definição básica, são a matéria e a energia que a natureza coloca à nossa disposição para que, transformando-os ou usando-os diretamente, possa o ser humano sobreviver e ter qualidade de vida.

A propagação cada vez maior da poluição luminosa constitui em um injustificável gasto de energia, que causa desequilíbrio do ecossistema e impede a observação do céu pela população. A fauna e a flora necessitam da escuridão para sua sobrevivência equilibrada. O excesso de iluminação em zonas costeiras interfere no comportamento de espécies marinhas. Portanto, normas que regulamentem e limitem a iluminação nestes locais são urgentes e necessárias para auxiliar na conservação da biodiversidade.

O uso irracional de sistemas de iluminação provoca a poluição atmosférica, pois sistemas ineficientes de iluminação consomem mais energia que um sistema eficiente e causam danos ambientais.

O aquecimento global poderia ser reduzido se os sistemas de iluminação ineficientes consumissem menos energia. Desta forma, a diminuição da poluição luminosa evitaria o desperdício de energia e possibilitaria a redução da poluição atmosférica.

Os problemas ambientais nas fases de produção, transporte, geração e uso da energia poderiam ser reduzidos através de parâmetros fixados por regulamentações e leis. Estas leis regulamentariam no sentido da redução da poluição luminosa e, conseqüentemente, da poluição atmosférica. Os efeitos positivos seriam os ganhos em créditos de carbono e na utilização da energia que seria desperdiçada em outros sistemas elétricos.

Os impactos sociais relacionados ao excesso de iluminação também poderiam ser combatidos com regulamentações nos níveis de iluminação evitando-se o ofuscamento da visão dos seres humanos, a fadiga visual, melhorando a percepção visual e a segurança nas rodovias. Nessa mesma linha, estas regulamentações evitariam a intensidade de luz muito forte que invade as casas e que podem causar problemas no sono e stress. Além dos problemas ambientais e sociais, a poluição luminosa pode causar prejuízos econômicos (desperdício energético) e problemas de segurança pública.

Uma correlação muito importante a ser considerada é a de que a exposição à luz durante a noite pode aumentar o risco do câncer de mama. O nosso ordenamento jurídico prevê elementos que fixam padrões relativos a poluição sonora. Portanto, situação análoga deve ser estendida a poluição luminosa, em defesa da saúde da pessoa humana, visto que o excesso de iluminação também é nocivo a saúde.

A poluição luminosa deveria ser assunto de debates, da mesma forma que a poluição sonora tem sido na cidade de Itajubá. Os cidadãos, autoridades legislativas, administrativas e judiciárias deveriam discutir este importante tema que passaria também por um processo de regulamentação de níveis de iluminação de locais, equipamentos a serem utilizados, entre outros. Tal como a poluição sonora tem sido discutida por comissões para fixar limites de decibéis estabelecidos por leis a serem respeitados pelos proprietários de carros de som e sistemas que fazem uso da propaganda em ambientes públicos. Ambos os tipos de poluição agridem o meio em que vivemos e devem

merecer uma especial atenção, visto que interferem na qualidade de vida e de saúde de todos os cidadãos.

É importante diferenciar a poluição luminosa de um sistema de iluminação que utiliza lâmpada energeticamente eficiente. Os sistemas de iluminação mal projetados podem utilizar lâmpadas eficientes e ter iluminação dispersiva. Neste caso, a eficiência energética da lâmpada não foi suficiente. Lâmpadas poderiam ser instaladas em locais onde a potência requerida seria menor do que a utilizada. Sistemas de redução de luminosidade poderiam ser implementados em locais onde a quantidade de pessoas e veículos é pequena nas horas posteriores a meia noite até o amanhecer do dia.

Alguns países, como a Itália e a Espanha, adotaram medidas para a redução da poluição luminosa através de uma legislação no assunto. Essas medidas trouxeram significativos ganhos econômicos, ambientais, sociais e científicos. O Brasil poderia basear-se nas experiências adquiridas nos locais onde existem regulamentações e fixar os padrões no sentido de iluminar com mais eficiência e economia.

4.1. Estudo de Caso do Observatório do Pico dos Dias

A pesquisa científica na área da astronomia também é prejudicada pelo excesso de iluminação artificial durante a noite. Como ocorre em outros países, também no Brasil, a falta de planejamento nos sistemas de iluminação nas cidades limita o poder de observação dos telescópios, conforme demonstrado na TABELA 9.

TABELA 9 – Impactos astronômicos da poluição luminosa.

Impactos Científicos
<ul style="list-style-type: none"> • Perda do poder de observação dos telescópios. • Prejuízos para as pesquisas científicas.

CRAWFORD (1999) demonstrou que o aumento da luminosidade artificial do céu reduz o poder de observação dos telescópios e exemplificou a

questão em um telescópio de 4m. O poder de observação reduz a medida que a porcentagem do fundo do céu foge do valor natural (como se o diâmetro do espelho fosse reduzido).

Os dados demonstrados na TABELA 10 foram obtidos aplicando-se nos dados disponíveis a fórmula do “diâmetro equivalente do espelho” descrita no item “Impactos Científicos” e utilizando o método desenvolvido por CRAWFORD (1999) no telescópio de 1,60 m instalado no Pico dos Dias.

É possível verificar que a alteração no fundo de céu natural diminui o poder do telescópio. O método foi aplicado nos dados do telescópio do Observatório Pico dos Dias, no sentido de se demonstrar que alterações no fundo de céu natural provocam perdas no poder de observação dos telescópios e não no sentido de se quantificar exatamente qual a perda que a poluição luminosa tem provocado no citado local.

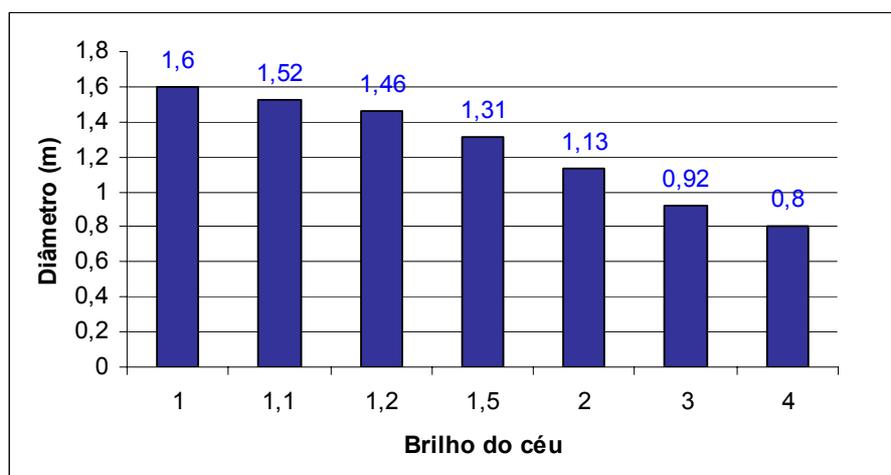
Pode-se constatar pela análise dos dados da TABELA 10 que a luminosidade artificial diminui o poder de observação do telescópio de 1.60 m de diâmetro de espelho. O diâmetro efetivo deste espelho é “reduzido” para 1,13 m para o caso de a contribuição de luz artificial duplicar em relação a um céu sem luz artificial, ou seja, sem poluição luminosa.

TABELA 10 – Simulação de porcentagem perdida pela iluminação artificial em um telescópio de 1,6 m.

Luminosidade artificial do céu	Diâmetro do espelho em metros
1,00	1,60
1,10	1,52
1,20	1,46
1,50	1,31
2,00	1,13
3,00	0,92
4,00	0,80

Na FIGURA 24 pode-se verificar o demonstrado na TABELA 10, observando-se a diminuição no diâmetro efetivo do espelho à medida que a luminosidade artificial do céu (Brilho do céu) aumenta.

FIGURA 24 – Diâmetro do espelho x Brilho do Céu



Baseado na Lei de Walker ($I = 0.01Pd^{-2.5}$) e tomando-se como exemplo as cidades existentes no entorno do Observatório do Pico dos Dias, obtém-se a TABELA 11, utilizando-se os dados disponíveis do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), onde a população é dada por P, em habitantes, e também considerando que a faixa de lumens emitidos por pessoa está entre 500-1000 e a distância (d) dada em km, em linha reta entre cada cidade do entorno e o Pico dos Dias, tem-se que para a cidade de Itajubá - MG, $I = 0,66$. Isto significa que a cidade de Itajubá - MG contribui com 66% de aumento no brilho do céu comparado com o fundo natural.

Apesar da cidade de Itajubá - MG ser maior do que a cidade de Brazópolis - MG, o impacto provocado por Brazópolis - MG é de $I = 0,92$, maior do que o de Itajubá, visto que Brazópolis - MG está a 7,5 km do Observatório Pico dos Dias e Itajubá a 18,5 km, mesmo Itajubá - MG sendo 6,4 vezes maior do que Brazópolis - MG.

As distâncias entre as cidades utilizadas na TABELA 11 e o Observatório do Pico dos Dias foram obtidas através do programa Google Earth.

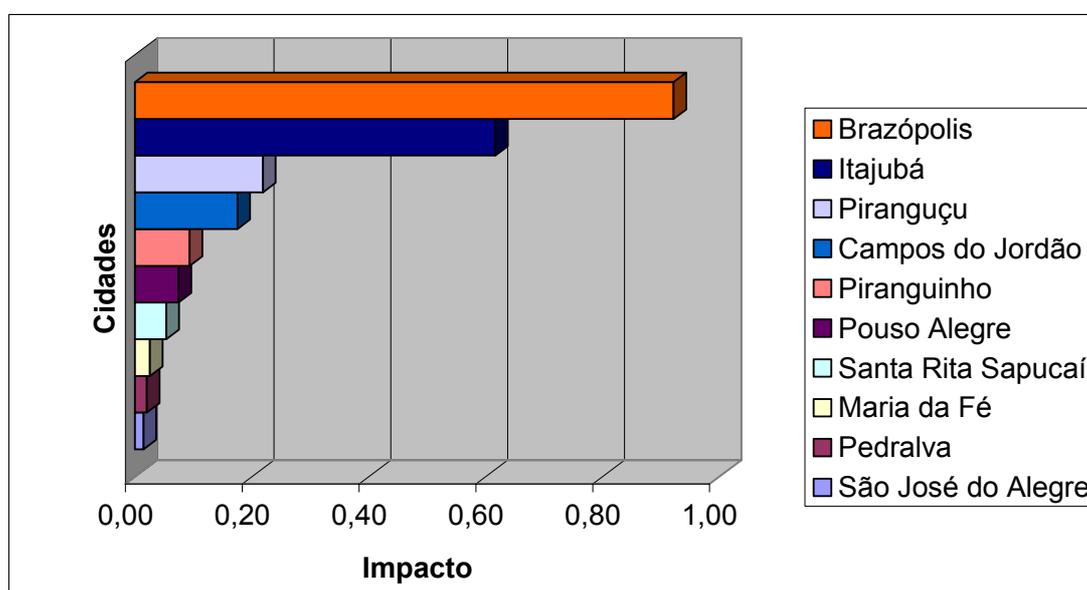
É importante salientar que neste exemplo os padrões de iluminação americanos, local onde foram considerados os valores da faixa de lumens emitidos, podem ser diferentes dos instalados no Brasil.

TABELA 11 – Impacto da poluição luminosa provocada pelas cidades

Cidade	Distância	População	Impacto
São José do Alegre	24	4178	0,01
Pedralva	33	12756	0,02
Maria da Fé	32,5	15330	0,03
Santa Rita Sapucaí	33,5	34920	0,05
Pouso Alegre	49	125209	0,07
Piranguinho	15	8160	0,09
Campos do Jordão	24	49512	0,18
Piranguçu	9	5329	0,22
Itajubá	18,5	90812	0,62
Brazópolis	7,5	14206	0,92

A FIGURA 25 mostra o impacto da luminosidade artificial provocado pelas cidades localizadas no entorno do Observatório do Pico dos Dias, onde pode-se verificar a cidade de Brazópolis - MG com o maior impacto, e também a cidade de Piranguçu - MG, que mesmo sendo menor do que a cidade de Campos do Jordão - SP, tem maior impacto.

FIGURA 25 – Cidades x Impacto



Na FIGURA 26 é mostrada a poluição luminosa no entorno do Pico dos Dias. Pode-se notar o brilho no céu (*Sky Glow*) acima das cidades de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí, Pouso Alegre e Campos do Jordão. Este brilho no céu é devido à poluição luminosa, resultado da falta de planejamento dos sistemas de iluminação e causado por toda luz que ilumina acima da linha do horizonte. Conforme já descrito anteriormente, o mau planejamento dos sistemas de

iluminação resulta em desperdício de energia e diminui o poder de observação dos telescópios que estão localizados no Observatório do Pico dos Dias. Ao centro da figura, visualiza-se a Via Láctea.

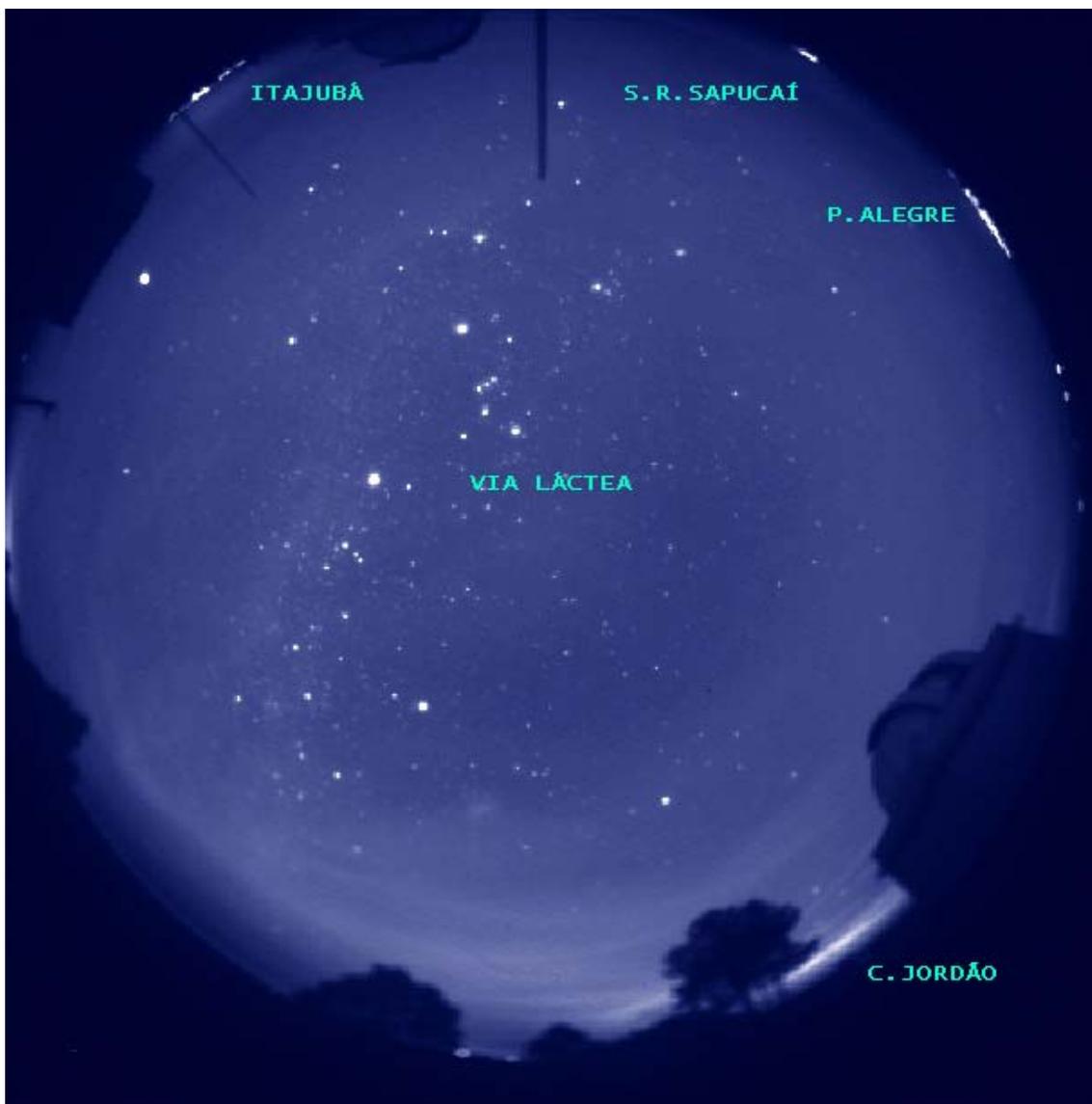


FIGURA 26 - Poluição luminosa no entorno do Pico dos Dias.

Fonte: Laboratório de Física e Astronomia da UNIVAP

A imagem foi obtida pela equipe do Laboratório de Física e Astronomia da UNIVAP. O equipamento é um fotômetro imageador *all sky* de alta resolução que trabalha obtendo imagens com sete filtros e uma oitava posição sem filtro (o fundo ou céu natural). Opera no OPD por um convênio técnico científico entre LNA e UNIVAP a partir do ano de 2002. Os dados do equipamento óptico são utilizados na pesquisa científica da atmosfera terrestre,

região da ionosfera e mesosfera (conforme comunicação pessoal com o Prof. José Ricardo Abalde, da UNIVAP).

A origem do problema depende de como os sistemas de iluminação estão instalados e projetados. Deve-se considerar a possibilidade da luz dispersar para fora da área a ser iluminada. Muitos pontos de iluminação são obsoletos, alguns ainda utilizam lâmpadas incandescentes e muitos outros utilizam as lâmpadas de vapor de mercúrio, que são altamente poluentes em todo o espectro visível.

No caso da cidade de Itajubá, pode-se observar na FIGURA 27 que os pontos de iluminação pública são baseados em sua maior parte por lâmpadas de vapor de mercúrio. Na parte inferior da imagem pode visualizar a Sub-estação da CEMIG que emite uma quantidade de luz muito grande em direção ao céu.



FIGURA 27 – Vista noturna do Pico do Dias da iluminação da cidade de Itajubá-MG.

Foto: Carlos Erli Martins, 2007

4.2. Análise dos sistemas de iluminação da cidade de Itajubá

A grande parte dos sistemas de iluminação da cidade de Itajubá utiliza as obsoletas luminárias com refrator prismático, que causam dispersão da luz, e luminárias abertas. Ambas as luminárias apresentam baixo rendimento luminotécnico. Além disso, a grande maioria das lâmpadas utilizadas em

Itajubá é de vapor de mercúrio. Estas lâmpadas utilizam mais potência e são menos eficientes quando comparadas as de vapor de sódio.

O uso de sistemas de iluminação ineficientes ocorre em diversos locais da cidade. Na FIGURA 28 são mostrados e enumerados três sistemas de iluminação de tipos diferentes, localizados no início da Av. BPS.



FIGURA 28 – Sistemas de iluminação do início da Av. BPS.

Pode-se observar na FIGURA 28 que as luminárias públicas 2 e 3 possuem características diferentes. A luminária de nº 3 possui alto rendimento luminotécnico e grau de proteção (IP) que não deixa que impurezas externas atrapalhem seu rendimento. Isto se deve ao fato de ser bem vedada, impedindo umidade, poeira e insetos em seu interior. A luminária de nº 2 não tem um bom rendimento luminotécnico, utiliza o refrator prismático que causa dispersão da luz e não possui um grau de proteção que impeça a poeira e insetos em seu interior. Esta luminária é muito utilizada na cidade de Itajubá. A

dispersão da luz da mesma é pior quando utilizada em conjunto com as lâmpadas de vapor de sódio que apresentam maior emissão de lumens, se comparadas à lâmpada vapor de mercúrio.

As luminárias esféricas (ou globos) causam grande dispersão de luz acima da linha do horizonte, conforme mostrado como nº 1 na FIGURA 28. Este tipo de luminária não é eficiente, porém pode ser utilizada quando forem instaladas proteções em sua metade superior, no sentido de evitar a dispersão, evitando-se assim a poluição luminosa.

Na Praça Dr. José Braz estão instaladas diversas luminárias esféricas. Na FIGURA 29 é mostrada a citada Praça no período noturno e com um detalhe da luminária no período diurno.



FIGURA 29 – Sistemas de iluminação Praça Dr. José Braz.

Pode-se notar que apesar da luminária possuir sistema de proteção (detalhe da FIGURA 29) para que a luz não seja emitida acima da linha do horizonte, esta proteção é ineficiente, pois na imagem noturna observa-se a claridade acima da luminária, iluminando as árvores e provocando a poluição luminosa.

Outro fator a ser considerado é a manutenção dos sistemas de iluminação. Na FIGURA 30, pode-se notar exemplos de alguns sistemas de iluminação da cidade de Itajubá que necessitam de manutenção.

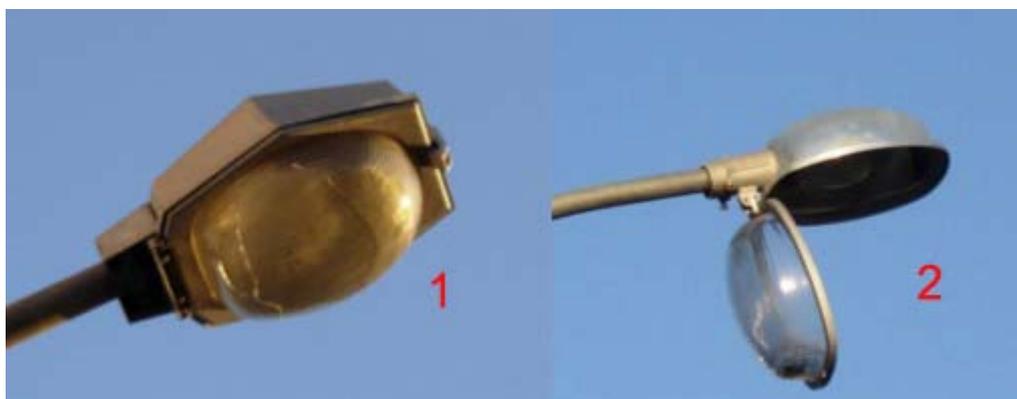


FIGURA 30 – Sistemas de iluminação sem manutenção.

A luminária 1 de refrator prismático trincado está instalada no início da Av. BPS. A luminária 2, também de vidro prismático, está instalada próximo à Delegacia de Ensino. Ambas, além de ineficientes, podem oferecer riscos a pessoas no caso alguma parte do refrator se soltar. Pode-se notar ainda sujeira dentro da luminária 1.

Os sistemas de iluminação de fachadas devem ser projetados, instalados e direcionados para o plano que forem iluminar.



FIGURA 31 – Sistema de iluminação inadequado para fachadas.

Na Praça Dr. José Braz existe um holofote que ilumina o Museu da cidade de Itajubá (antigo prédio da Estação Ferroviária). No detalhe da FIGURA 31 é mostrado o sistema em funcionamento em período noturno. Pode-se notar que este sistema não é direcional. Além de não iluminar somente a fachada, causa grande dispersão.

É importante salientar também o fator angulação nos sistemas de iluminação. Além de o sistema ter que ser moderno e de alto rendimento luminotécnico, o ângulo de instalação deve ser considerado e instalado a 90° em relação ao plano em que está fixado para que não ilumine acima da linha do horizonte.

4.3. Anteprojeto de Lei contra a poluição luminosa

A finalidade do anteprojeto de Lei contra a poluição luminosa apresentado no Anexo I é a regulamentação de instalações de iluminação externas e internas, públicas e privadas. Tem o intuito de evitar a poluição luminosa que ocorre devido ao mau planejamento dos sistemas de iluminação e dos efeitos produzidos por esta poluição visando a proteção do meio ambiente noturno, em benefício da flora, fauna e ecossistemas em geral.

Este Anteprojeto de Lei foi baseado nos principais pontos da Lei 6/2001, de 31 de maio, de ordenação ambiental dos sistemas de iluminação para a proteção do meio noturno e no DECRETO 82/2005, de 3 de maio, que complementa pontos da Lei 6/2001, de 31 de maio, de ordenação ambiental dos sistemas de iluminação para a proteção de meio noturno, ambos da Catalunia, Espanha.

A seguir é apresentado o Anteprojeto de Lei:

Anteprojeto de Lei contra a poluição
luminosa

Artigo 1

Objeto

É objeto da presente Lei a regulamentação de instalações de iluminação externas e internas, públicas e privadas, com intuito de se evitar a poluição luminosa que ocorre

devido ao mau planejamento dos sistemas de iluminação e dos efeitos produzidos por ela.

Artigo 2

Finalidades

A presente Lei tem as seguintes finalidades:

- a) Regular a implantação dos sistemas de iluminação no sentido de proteger o meio ambiente noturno;
- b) Manter as condições naturais ao máximo possível, em benefício da fauna, da flora e dos ecossistemas em geral, evitando a poluição luminosa e prevenindo os efeitos nocivos provocados por ela nas áreas de proteção;
- c) Promover as eficiências energética e luminosa das iluminações externas e internas no sentido de se iluminar com eficiência e segurança;
- d) Evitar a luz intrusa nas residências e minimizar os danos por ela provocados;
- e) Prevenir e corrigir os efeitos da poluição luminosa na visão do céu, mantendo o fundo do céu em níveis próximos do natural.

Artigo 3

Isenção de aplicação

1. Estão isentos de cumprir as obrigações fixadas pela presente Lei:

- a) Os portos, aeroportos, instalações ferroviárias, estradas;
- b) Instalações e dispositivos de sinalização marítimos (faróis);
- c) Instalações das forças armadas e corpo de bombeiros;
- d) Veículos automotores;
- e) Infra-estruturas cuja iluminação é regulada através de normas para garantir a segurança.

2. Estão excluídos da aplicação da presente Lei a luz ocorrida por combustão em uma atividade que não tenham o propósito de iluminação.

Artigo 4

Zoneamento

1. A divisão do território em áreas deve ser ajustada ao seguinte zoneamento, em função da vulnerabilidade a poluição luminosa.:

- a) Área E1: são as áreas de máxima proteção dos efeitos provocados pela poluição luminosa, ambientes territoriais que devem ser objeto de uma proteção especial, por

motivo das características naturais ou do valor astronômico especial no qual se pode admitir um brilho mínimo.

b) Área E2: áreas incluídas em ambientes territoriais que só admitem um brilho reduzido.

c) Área E3: áreas incluídas em ambientes territoriais que admitem um brilho médio.

d) Área E4: áreas incluídas em ambientes territoriais que admitem um brilho alto, onde existe alta densidade populacional, áreas comerciais, industriais e ou de serviços e também as principais vias do município, onde a aprovação será feita pela Secretaria indicada pela autoridade municipal. A área E4 não pode situar-se a menos de 2 km de uma área E1.

e) A autoridade municipal poderá em acordo com a Secretaria indicada para este fim, efetuar modificações nas áreas de proteção contra a poluição luminosa sempre que estudos preliminares indicarem que tal modificação é pertinente.

f) As áreas E1 próximas as áreas de máxima proteção ou áreas próximas a costa, devem ser respeitadas dos efeitos da poluição luminosa. A Secretaria indicada pela autoridade municipal tem o poder de determinar mudanças no sentido de evitar o impacto negativo nestas áreas ocasionado pela poluição luminosa.

g) Pontos de referência: pontos próximos às áreas de valor astronômico ou natural especial incluídos na área E1, para onde é necessário estabelecer um regulamento específico em função da distância para a área em questão.

Artigo 5

Limitações e proibições

1. Os projetos de instalação de iluminações que trabalham em horário noturno devem ser acompanhados por uma planilha justificando sua necessidade.

2. As secretarias municipais podem estabelecer característica de valores de fluxo do hemisfério superior instalado atendendo às características e especificidades da área;

3. Os sistemas de iluminação interior não deverão produzir o mínimo fluxo de luz ao exterior, luz intrusa, ofuscamento e brilho no céu;

4. São proibidos:

a) As luminárias com fluxo do hemisfério superior emitido acima de 50%, a menos que eles iluminem elementos de interesse

- histórico ou artístico em conformidade com o projeto aprovado pela Secretaria designada pela autoridade municipal;
- b) As fontes de luz que, por meio de projetores convencionais ou laser, emitirem acima da linha do horizonte, a menos que iluminem elementos de interesse histórico, aprovado pela Secretaria designada pela autoridade municipal;
- c) Os painéis noturnos de publicidade não aprovados pela Secretaria designada pela autoridade municipal;
- d) A iluminação de grandes extensões de praia ou de costa marítima, exceto por razões de segurança, em caso de emergência ou aprovados pela Secretaria designada pela autoridade municipal;
- e) A iluminação de instalações em falta com a planilha justificativa exigida.

Artigo 6

Características das instalações e dos sistemas de iluminação exterior

1. As instalações e os sistemas de iluminação devem ser projetadas e instaladas de forma a prevenir a poluição luminosa, favorecendo a economia, o uso adequado e o uso aproveitamento da energia, devendo ser instalados os componentes necessários para este fim.

2. Lâmpadas:

a) A lâmpada a ser utilizada deve ser de vapor de sódio de alta ou baixa pressão, de maior eficiência energética e de mínima emissão de fluxo luminoso fora da área do espectro visível, porém deve ser compatível com as funcionalidades de cada local.

b) Os processos de renovação de lâmpadas de iluminação exterior devem substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio por outras de menor impacto ambiental e também de menor potência instalada.

c) As lâmpadas de vapor metálico, poderão ser objeto de estudo em projetos onde exista a possibilidade de ocorrer eventos esportivos televisivos, dada a sua melhor definição de cores nas imagens.

3) Luminárias:

a) O fluxo do hemisfério superior das luminárias instaladas em um sistema de iluminação exterior será de no máximo 1% nas áreas E1, 5% nas áreas E2, 15% nas áreas E3 e 25% nas áreas E4.

b) O ofuscamento máximo dos sistemas de iluminação exterior do tipo viário deve ser de no máximo 10% nas áreas E1 e E2, e de 15% nas áreas E3 e E4.

c) A iluminação produzida por projetores deve limitar-se a superfície a ser iluminada, não podendo provocar ofuscamento, luz intrusa e brilho no céu, devendo ser preferencialmente instaladas do plano superior para o plano inferior.

d) As luminárias dos sistemas de iluminação pública devem ter grau de proteção IP66 e ângulo de fixação de 90° com relação ao plano vertical em que estão fixadas. As exceções deverão ser aprovadas pela Secretaria designada pela autoridade municipal

4. Iluminação:

a) Se as conseqüências da iluminação de um espaço ou objeto produzir iluminação residual que invade uma outra área que não deva ser iluminada, esta deve ser reduzida.

b) A iluminação da fachada de um edifício deve ter um fluxo luminoso somente na área da fachada do edifício em questão, não devendo o fluxo luminoso ultrapassar a área a ser iluminada.

c) Os sistemas de iluminação instalados nas áreas E1 e E2 devem ser providos de regime de funcionamento variável, podendo-se variar o fluxo de iluminação sem afetar a uniformidade do fluxo.

d) Os *outdoors* luminosos ou iluminados nas áreas externas devem ter luminância máxima de 50 lumens nas áreas E1, de 400 lumens nas áreas E2, de 800 lumens nas áreas E3 e de 1000 lumens nas áreas E4.

e) A iluminação interior dos edifícios, de vitrines e de janelas que emitam luz ao exterior devem limitar a sua luminância a 5cd/m² nas áreas E1, a 20 cd/m² nas áreas E2, a 40 cd/m² nas áreas E3 e a 50 cd/m² nas áreas E4.

f) A iluminação de fachadas de edifícios e de monumentos de interesse histórico e cultural devem cumprir a luminância média de 0 cd/m² nas áreas E1 e E2, de 5 cd/m² nas áreas E3 e de 12 cd/m² nas áreas E4, devendo-se a iluminação ter sistema de desligamento automático após a meia noite.

g) Qualquer nova iluminação ornamental deve respeitar os critérios estabelecidos nesta Lei.

h) A iluminação máxima nas áreas externas industriais, comerciais, serviços, desportivas, recreativas e equipamentos devem cumprir valores máximos de luz intrusa de 1% nas áreas E1, 2% nas áreas E2, 5% nas áreas E3 e 10% nas áreas E4. Casos excepcionais deverão ser levados a

apreciação da Secretaria competente com o devido projeto anexo.

5. Serão adotados programas de manutenção para a conservação permanente das características das instalações e os sistemas de iluminação. Os programas de manutenção dos sistemas de iluminação devem ter periodicidades de limpeza, controle do fluxo, verificação dos equipamentos auxiliares no sentido de seu correto funcionamento.

6. O Plano Diretor do município deve formular a adequação dos sistemas de iluminação existente no município, fixando tempo de troca dos sistemas antigos e ineficientes.

Artigo 7

Regime sazonal e horário de uso da iluminação

1. a iluminação externa, tanto o de propriedade pública como o de propriedade privada, deve ser mantida desligada no horário noturno, tanto em áreas comerciais como em áreas industriais, residenciais ou rurais, exceto nos casos seguintes:

- a) por motivo de segurança.
- b) iluminação de ruas, estradas, vias, passarelas e, enquanto forem dedicados a este uso, áreas de equipamentos e de estacionamentos.
- c) Para uso comercial, industrial, agrícola, esporte ou recreativo, durante o tempo de atividade.
- d) Por outras razões justificadas que devem ser determinados por regulamento e devem ter sido especificados em planilha justificativa exigida no artigo 6.3.

2. As secretarias municipais são competentes para julgar as características de regime de iluminação para os eventos noturnos singulares, festivos, culturais, esportivos ou ao ar livre, prevenindo a poluição luminosa e privilegiando a economia de energia com as necessidades derivadas dos eventos mencionados.

3. Os critérios gerais do regime sazonal e horário de usos da iluminação externa são de competência da Secretaria designada pela autoridade municipal.

Artigo 8

Obrigações das administrações públicas

As administrações públicas, no âmbito de suas competências, devem zelar por:

- a) Sistemas de iluminação que distribuem a luz do modo mais efetivo e eficiente e usam

a quantidade mínima de luz nos sistemas de iluminação.

b) Os sistemas de iluminação externos instalados devem preferentemente utilizar componentes homologados por selos de qualidade que evitem a poluição luminosa e façam uso eficiente da energia;

c) Os componentes sistemas de iluminação devem se adequar às características de usos, da área iluminada e emitam fluxo de luz preferentemente na área do espectro visível.

d) Os sistemas de iluminação só sejam ligados quando for necessário, por meio de temporizadores.

e) Os sistemas de iluminação permaneçam desligados em horário noturno quando não forem necessários.

f) As instalações e os sistemas de iluminação sejam submetidos à manutenção apropriada para a conservação permanente de suas características.

Artigo 9

Critérios para a contratação administrativa
1. As construções, as instalações e as moradias que requerem iluminação em horário noturno devem apresentar à administração pública competente uma planilha justificando a necessidade. E o projeto de iluminação deve ser ajustado ao máximo para prevenir a poluição luminosa.

Artigo 10

Tipificação

Constitui infração administrativa as ações e as omissões que infringem as obrigações que estabelece a presente Lei, de acordo com o tipificação e a graduação:

1. São infrações leves as ações ou as omissões seguintes:

a) Desrespeitar em uma margem de até duas horas o regime de programação de uso da iluminação.

b) Exceder em até 20% o fluxo de hemisfério superior instalado autorizado.

c) Infringir por ação ou omissão qualquer outra determinação da presente Lei, a menos que seja incorrido em uma infração séria ou muito séria.

d) Instalar luminárias ou fontes de luz que infringem a presente lei;

2. São infrações graves as ações ou omissões seguintes:

a) Desrespeitar por mais de duas horas o regime de programação de uso da iluminação.

- b) Exceder em mais de 20% o fluxo de hemisfério superior instalado autorizado.
 - c) Instalar sistemas de iluminação que não cumpram as exigências estabelecidas pela presente Lei.
 - d) Modificar um sistema de iluminação externo alterando a intensidade, o espectro ou o fluxo de hemisfério superior instalado de forma que deixem de cumprir com as prescrições da presente Lei.
 - e) Cometer dentro de uma área E1 ou em um ponto de referência uma infração tipificada como leve.
 - f) Obstruir a atividade de controle ou de inspeção da Administração.
 - g) Cometer duas ou mais infrações leves.
3. São infrações muito graves as ações ou omissões seguintes:
- a) Desrespeitar uma infração tipificada de como grave, se causa um prejuízo importante ao meio.
 - b) Desrespeitar dentro de uma área E1 ou em um ponto de referência uma infração tipificada de como grave.
 - c) Cometer duas ou mais infrações graves.

Artigo 11

Responsabilidade

São responsáveis pelas infrações da presente Lei as pessoas físicas e jurídicas que cometeram a infração;

Artigo 12

Quantidade das sanções

- 1. as infrações leves são sancionadas com multas de 1 (um) salário mínimo de referência a 4 salários mínimos de referência;
- 2. as infrações sérias são sancionadas com multas de a 4 (quatro) salários mínimos de referência a 20 (vinte) salários mínimos de referência;
- 3. as infrações muito sérias são sancionadas com multas de 20 (vinte) salários mínimos de referência a 200 (duzentos) salários mínimos de referência.

Artigo 13

Graduação das sanções

As sanções são graduadas levando-se em conta os seguintes critérios:

- a) A intencionalidade da pessoa infratora.
- b) O grau de participação no fato de outro título que o de autor.
- c) A reincidência, se por resolução declarada pela comissão, em um prazo de 1

ano, de mais de uma infração de mesma natureza.

Artigo 14

Multas coercitivas e reparação dos danos

1. Podem ser impostas multas coercitivas, de uma quantidade máxima de 4 (quatro) salários mínimos de referência, e um máximo de três consecutivas, para acelerar o cumprimento das obrigações derivadas das medidas cautelares ou das resoluções sancionadoras da presente Lei.

2. Se uma infração da presente Lei causa um dano para a biodiversidade, o responsável tem a obrigação de consertá-lo, e devolvê-lo ao seu modo originário, antes da alteração. Se a reparação não for possível, o responsável pela infração tem que reembolsar para os danos e prejuízos.

3. A imposição de multas coercitivas e a exigência da reparação do dano ou da indenização pelos prejuízos causados devem ser compatíveis com a imposição das sanções correspondentes.

Uma legislação fixando parâmetros é um modo de evitar e corrigir a poluição luminosa no Brasil. A lei a ser implementada poderá fixar normas para o planejamento e a instalação de novos pontos luminosos, determinar o uso de equipamentos e lâmpadas mais energética e economicamente eficientes e incentivar programas de educação da população. Além disso, o controle da poluição luminosa no entorno das áreas de preservação ambiental e nas grandes áreas verdes que ainda não são protegidas poderia ser um aspecto a ser considerado na legislação a ser implementada.

Os ganhos são notórios nos países onde as leis foram implementadas no sentido de reduzir a poluição luminosa. As medidas implementadas no Chile e na Espanha através das respectivas Leis trouxeram um significativo aumento na quantidade de lumens e na redução da potência instalada. Após a implantação das medidas legislativas, o fluxo direcionado ao céu teve uma grande redução. Em certos casos foi reduzido para zero, significando que o fluxo luminoso planejado e dirigido está fazendo uso racional da iluminação.

A legislação a ser desenvolvida para o controle da poluição luminosa deve inserir regras claras para controle da iluminação pública e privada e uso de lâmpadas e luminárias adequadas diretamente no Plano Diretor das

idades. Tal lei caberia tanto em sistemas de iluminação, quanto em *outdoors* de publicidade, canhões a laser, iluminação de áreas recreativas, praças, áreas esportivas, entre outros. A ausência desta legislação é um problema que favorece a falta de controle no local a ser iluminado. A conseqüência disso é o desperdício de energia em locais públicos e privados das cidades. Esta verba mal empregada poderia ser investida em outras áreas. De acordo com os dados da *International Dark Sky Association*, localizada em Tucson, Arizona, mais de 30% dos sistemas de iluminação externos causam dispersão para o céu, levando a um enorme desperdício de dinheiro, com danos irreparáveis para as áreas, ambiental, social, econômica e astronômica.

Os sistemas de iluminação menos eficientes usados habitualmente, podem ser trocados por outros mais eficientes e menos poluentes, conforme contempla o Anteprojeto de lei. As lâmpadas a vapor de sódio de alta ou baixa pressão e as luminárias com grau de proteção devem manter o fluxo luminoso constante e não prejudicado pela poeira ou outro tipo de sujeira. Tais sistemas devem também limitar a dispersão de luz utilizando luminárias do tipo *cut-off* ou providas de proteção, dirigindo a luz para a área a ser iluminada, em seu devido ângulo.

Na FIGURA 32 são mostrados três tipos de sistemas de iluminação. O primeiro tipo é o mais correto, equipado com luminária moderna, de vidro plano que não emite fluxo luminoso acima da linha do horizonte. O segundo é equipado com luminária de refrator prismático que causa grande dispersão da luz e que apesar de estar em ângulo de 90° em relação ao plano vertical, dado o refletor que é utilizado neste sistema, há emissão de fluxo acima da linha do horizonte. O terceiro tipo é o pior e também é equipado com luminária de refrator prismático, porém a luminária não está no ângulo correto de 90° em relação ao plano vertical. Sendo assim, além de ser equipado com refrator de grande dispersão de luz, emite fluxo luminoso acima da linha do horizonte, não sendo um sistema eficiente.

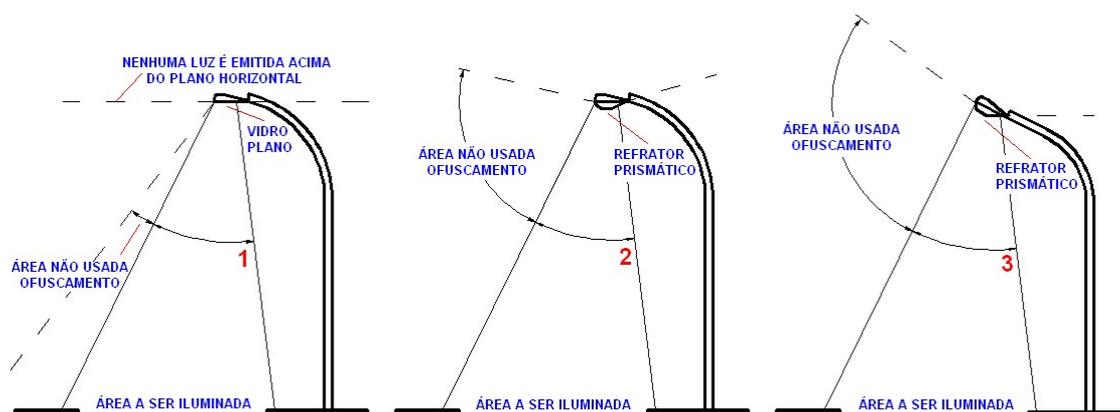


FIGURA 32 – Tipos de instalação de luminárias.

Deste modo, a legislação fixando normas para a correta instalação dos sistemas de iluminação e aprovando projetos somente em conformidade com a norma, garantiria que muitos sistemas tivessem um melhor aproveitamento energético e luminoso.

Os *outdoors* poderiam ter a área a ser iluminada bem direcionada e com lâmpadas e luminárias adequadas para este tipo de aplicação. Bem como as áreas esportivas e recreativas com o devido planejamento de seus sistemas de iluminação com projetos devidamente aprovados. Os sistemas de iluminação das praças públicas deveriam conter proibições expressas para luminárias esféricas sem proteção superior que evita que a luz ultrapasse o plano horizontal, visto que causam maior poluição luminosa e têm baixa eficiência. Os monumentos, fachadas e outras áreas a serem iluminadas, deveriam ter seu foco dirigido somente onde deve ocorrer a iluminação, evitando-se a dispersão de luz para o céu e acima da linha do horizonte. Os canhões de luz e lasers direcionados ao céu deveriam ser proibidos pela legislação ou aprovados quando pertinentes a determinadas situações definidas.

É importante mencionar que existem áreas com quantidade de luz que excedem 2 ou 3 vezes o que seria necessário para o local. Muitos fabricantes disponibilizam catálogos que ajudam a orientar na escolha correta do sistema a ser instalado para cada tipo de aplicação. A economia gerada pelos sistemas projetados adequadamente poderia alcançar um enorme ganho com o uso racional da energia em sistema de iluminação, diminuindo a poluição luminosa,

economizando combustíveis, reduzindo a emissão de CO₂ e evitando a construção de novas usinas e o impacto ambiental em grandes áreas.

A legislação deverá regulamentar os níveis de iluminação de acordo com local e hora, assim como os rendimentos das luminárias e lâmpadas a serem instaladas. Também deverão ser regulamentados os horários de uso das luzes, obrigando apagar luzes exteriores que não são estritamente necessárias. Como por exemplo, as iluminações ornamentais e de grandes espaços exteriores que a partir de determinados horários não são justificáveis. Da mesma forma, a legislação deveria contemplar a redução da iluminação em locais onde se deseja manter um baixo nível de iluminação para segurança do tráfego e onde exista baixo fluxo de pedestres em certos horários.

O legislador terá como objetivo principal o máximo aproveitamento da energia nos sistemas de iluminação, procurando estabelecer normas para reduzir consideravelmente o consumo energético. Além disso, estabelecerá normas administrativas que assegurem de forma eficiente e integradora a proteção dos cidadãos contra os efeitos nocivos derivados da poluição luminosa. No plano de execução, os instrumentos básicos a serem considerados serão o planejamento e a interdisciplinaridade da poluição luminosa, por envolver impactos sociais, ambientais, econômicos, científicos e jurídicos, necessitando assim da participação das partes envolvidas e afetadas.

Da mesma forma que existem áreas de proteção sonora é necessário existir áreas de proteção de iluminação, onde se incluem os observatórios astronômicos, áreas de proteção ambiental (APA), reservas naturais, entre outras; onde ocorreriam espaços estritamente reservados para pesquisas astronômicas científicas e áreas recreativas para observação das estrelas. Essa idéia já é contemplada em países como Itália, Chile e Espanha, onde se prevê a declaração de áreas de proteção dos observatórios.

Para que uma norma em poluição luminosa seja efetiva e realista, deve-se levar em conta o território em questão, separando-se por áreas e degraus de iluminação e proteção. As áreas de máxima proteção dos efeitos provocados pela poluição luminosa seriam consideradas de proteção especial, onde se incluiriam observatórios, APA's e áreas naturais. Outras áreas seriam criadas e classificadas como ambientes territoriais que só admitiriam brilho

reduzido, brilho médio e finalmente uma área incluída em ambientes territoriais que admitiriam brilho alto (onde existe alta densidade populacional, áreas comerciais, industriais ou de serviços e também as principais vias do município). O objetivo destas divisões seria atuar de maneira adequada em cada área em função do nível de iluminação considerado admissível, iluminação permitida, projeto e instalação de equipamentos apropriados e determinação de horários de acender e apagar as luzes. Adicionalmente, os projetos de instalação de luminárias que irão funcionar em horários noturnos deverão ser acompanhados de justificativa e análise de impactos.

Os sistemas de iluminação interior também seriam incluídos na legislação em questão, onde a iluminação interior de edifícios, de vitrines e de janelas que emitirem luz ao exterior teria regras claras no sentido de se evitar a poluição luminosa.

Para que tudo seja efetivamente cumprido, poderiam ser criadas muitas leves e graves para infrações administrativas, ações e omissões que infringirem obrigações estabelecidas na legislação, respeitando-se a tipificação e a graduação, onde poderiam ser responsabilizadas tanto pessoas físicas como jurídicas.

A legislação a ser proposta poderá ser baseada em leis existentes em outros países com intuito de prevenir a poluição luminosa, com limites para a dispersão de luz. Como exemplo, Itália, onde muitas regiões já são protegidas, Republica Tcheca, Chile, Estados Unidos, México, Espanha (utilizada neste trabalho como parâmetro), entre outros.

No Brasil existem pouquíssimas leis neste sentido: Campinas, Caeté e IBAMA. Além disso, a norma ISO 14001 também não contempla este tema (Ivo Neves, Consultor ambiental da empresa Ambiente & Qualidade, comunicação pessoal). É evidente a falta de sensibilidade dos cidadãos e dos poderes públicos para os problemas ambientais derivados do uso incorreto da luz. Esta ausência de sensibilidade provavelmente deve-se pela falta de informação a respeito do assunto, atrelada ao fato da convivência com este problema há muito tempo. Também pelo fato do costume com tal o problema e ele passar como despercebido.

A recuperação do céu escuro necessita, portanto, não só de medidas normativas, mas também de campanhas de educação ambiental com caráter sensibilizador e didático, incentivando como cada indivíduo pode colaborar para reduzir a poluição luminosa (por exemplo: manter as luzes interiores e exteriores apagadas quando não estiverem sendo usadas).

Diversos países que seguiram as normas em poluição luminosa tiveram significativos ganhos e resultados positivos, tanto pelo lado econômico quanto pelo lado ambiental. O tempo de retorno dos investimentos dos sistemas é sempre de poucos anos, o que mostra que a modificação é economicamente viável. A tendência das mudanças é sempre pela adoção de luminárias modernas, equipamentos inteligentes que reduzem o nível de iluminação quando o fluxo de pessoas nas ruas também diminuir, lâmpadas de vapor de sódio, que além de serem mais eficientes, são menos prejudiciais ao meio ambiente.

As metas atingidas nos países apresentados neste trabalho expõem que existe uma relação entre a diminuição da potência dos sistemas de iluminação, aumento da quantidade de lumens emitidos e redução da poluição luminosa. Isto indica que as medidas são sempre eficientes e que uma legislação em poluição luminosa é pertinente em diversos impactos: ambiental, econômico, social e científico.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados coletados nos países que implementaram leis de controle da poluição luminosa pôde-se concluir a importância e a urgência de se propor uma legislação pertinente que discipline os sistemas de iluminação públicos e privados, de modo a reduzir a poluição luminosa. A adoção de planejamentos mais criteriosos e modernos possibilita cidades mais eficientemente iluminadas e a mitigação dos danos ambientais.

As legislações existentes em outros países favorecem a padronização dos sistemas de iluminação evitando a utilização de equipamentos eficientes próximos a outros não eficientes. Através da análise crítica da cidade de Itajubá foi possível constatar este problema. Não há justificativa para que isto ocorra, visto que equipamentos mais modernos têm a tendência de consumir menos energia com menor potência instalada. Para que os equipamentos que requerem menor potência sejam eficientes em termos luminosos, a utilização de luminárias modernas e de ótimo rendimento luminotécnico é de suma importância, visto que não é interessante somente o aumento da eficiência das lâmpadas.

Sob a ótica dos países onde foram adotadas legislações contra a poluição luminosa, pôde-se constatar que, em sua maioria, os limites impostos pela lei são respeitados, como comprovam os dados apresentados do Chile, Itália e Ilhas Canárias.

No caso do Brasil, pôde-se concluir que, tomando-se como base a comunicação pessoal relativa à lei de proteção do entorno do Observatório em Caeté contra a poluição luminosa, as medidas propostas pela lei foram respeitadas. O IBAMA merece atenção especial, visto que sua legislação tem tido sucesso na preservação das tartarugas, entre outras medidas, com a fixação de padrões de iluminação em áreas onde ocorre a postura e eclosão dos ovos.

Ainda em termos ambientais, pôde-se concluir que a ISO 14001 pode ter um importante papel também nesta normatização e na minimização de impactos ambientais causados pela poluição luminosa, visto que a poluição luminosa pode ser encarada como um aspecto ambiental a ser gerenciado

através da legislação, apesar de pouco citado nos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) brasileiros.

Os dados levantados dos diversos países pesquisados demonstram uma relação entre um menor consumo de energia, maior quantidade de lumens emitidos, redução na potência instalada e menor fluxo de luz direcionado ao céu quando as medidas de eficiência nos sistemas de iluminação são implementadas.

Pode-se afirmar que o uso racional da iluminação gera economia de recursos naturais e econômicos, uma vez que poupa a energia que seria desperdiçada, com conseqüências sociais importantes tais como a preservação da saúde e intimidade familiar, iluminação mal direcionada, bem como melhor visibilidade dos objetos celestes da superfície terrestre.

Finalmente, vale ressaltar que iluminar bem não é iluminar em excesso, e sim, com eficiência, e os profissionais e a comunidade em geral devem ser alertados para isso. Os órgãos de disseminação de informação e os formadores de opinião devem ter conhecimento deste importante aspecto e podem possuir um importante papel em alertar a população sobre os aspectos negativos da poluição luminosa, seus impactos e meios de evitá-la. Por fim, conclui-se também que uma legislação no tema é urgente e necessária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABALDE, J. R., UNIVAP, Laboratório de Física e Astronomia - LFA, Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, comunicação pessoal.
- ARENDT J. Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Rev Reprod.* 1998.
- ASTROMANUAL – Manual Digital Astronômico. Disponível em http://rgregio.astrodatabase.net/magnitude_escalas.htm. Acesso em 15 de outubro de 2007.
- BARBOSA, R, & ALMEIDA, J.G.P., Iluminação Pública Eficiente - Guia Técnico Procel/Reluz, ELETROBRÁS/IBAM, 2a Edição, Rio de Janeiro, 2004.
- BERTIAU, F.C.S.J, de GRAEVE, E.S.J, & TREATOR, P.J.S.J. Vatican Observatory Publ, Cidade do Vaticano, Itália, 1973.
- BLASK, D.E, SAUER, L.A, DAUCHY, R.T., Melatonin as a chronobiotic/ anticancer agent: cellular, biochemical, and molecular mechanisms of action and their implications for circadian-based cancer therapy. *Curr Top Med Chem*, Oak Park, Estados Unidos, 2002.
- BONATA, D., The experience of Lombardy in the fight to light pollution with the law no. 17/2000: a law to be imitated. In: CINZANO, P.(Ed.) Light pollution and the protection of the night environment. Light Pollution Science and Technology Institute. Thiene, Itália, 2002.
- BRAINARD, G.C, ROLLAG, M.D, HANIFIN, J.P. Photic regulation of melatonin in humans: ocular and neural signal transduction. *J Biol Rhythms*. Filadelfia, Estados Unidos, 1997.
- BUCHANAN, B.W. Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. *Anim Behav.* Vandoeuvre, França, 1993.
- BURTON, W.,. The NOVAC–DMSP light-pollution map project. Web site: <http://www.stellafane.com/>; Artigo Modeling Light Pollution from Population Data and Implications for National Park Service Lands. Boulder, Estados Unidos, 2001.
- CAMPINAS. Lei Municipal Nº 10.850 de 07 de junho de 2001. Legislações. Disponível em www.campinas.sp.gov.br/. Acesso em 18 de maio de 2007.
- CASTRO, J. D., The sky law: problems and benefits in its application. Oficina técnica para la protección de calidad del cielo. Instituto de Astrofísica de Canarias. 2006.

- CASTRO, J. D. & LA PAZ, F., The “Law of the heavens” of the Canaries. In: Light Pollution: The Global View. SCHWARZ, H.E.-Editor. La Serena, Chile, 2003.
- CHARRO, M. C., El derecho a ver las estrellas: Análisis de la contaminación lumínica desde una perspectiva jurídica, Revista de derecho urbanístico y medio ambiente, Madrid, Espanha, 2001.
- CINZANO P., FALCHI F., C. D. ELVIDGE & K. E. BAUGH, The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System Measurements, Padova, Itália, 2000.
- CINZANO, P., FALCHI F. & ELVIDGE, C. D., The first world atlas of the artificial night sky brightness. Publ. Royal Astronomical Society, Padova, Itália, 2001.
- CINZANO, P., FALCHI, F., ELVIDGE, C. D., & BAUGH, K. E., Global Monitoring of the night sky brightness by satellites and the state of the night sky in Chile. In: Light Pollution: The Global View. SCHWARZ, H.E.-Editor. La Serena, Chile, 2002.
- CINZANO, P., Light pollution and the situation of the night sky in Europe, In Italy and in Veneto. In: CINZANO, P.(Ed.) Light pollution and the protection of the night environment. Light Pollution Science and Technology Institute. Thiene, Itália, 2002.
- CLARKE T., Nature Magazine, Day One for Light Pollution Law, Londres, Inglaterra, 2002.
- COHEN J., SULLIVAN W. T., Proc UN-IAU Symp 196, Preserving the astronomical Sky-Ast. Soc. Pac., São Francisco, Estados Unidos, 2001.
- CONAMA. Legislação – Resoluções. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama/> . Acesso em 14 mar 2004.
- CONAMA-Chile. Comisión Nacional Del Medio Ambiente. Manual de Aplicación. Norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica. La Serena, Chile, 1998.
- CORTELUX – Disponível em <http://www.cortelux.com.br>. Acesso em 18 de maio de 2007.
- COSTA, G.J.C., Iluminação econômica: cálculo e avaliação., EDIPUCRS, 2 ex., Porto Alegre, Brasil, 1998.
- CRAWFORD, D. L., & GENT, R.L., Progress and Challenges in Light Pollution Control. In: CINZANO, P.(Ed.) Light pollution and the protection of the night environment. Light Pollution Science and Technology Institute. Padova, Itália, 2002.

- CRAWFORD, D. L., Light Pollution, an environment problem for astronomy and for mankind. Measuring and modeling light pollution. Mem. Soc. Astron. Ital. Ed. Pierantonio Cinzano. Padova, Itália, 1999.
- CSA – Canadian Space Agency – Disponível em <http://www.space.gc.ca/asc/eng/educators/resources/stars/light.asp>. Acesso em julho de 2007.
- DAUCHY, R.T., SAUER, L.A., BLASK, D.E., VAUGHAN, G.M. Light contamination during the dark phase in “photoperiodically controlled” animal rooms: effect on tumor growth and metabolism in rats. Lab Anim Sci. Nova York, Estados Unidos, 1997.
- DEL CASTILLO, E.M.A., CRAWFORD, D. L. & DAVIS, D.R., Preserving our nighttime environment: a global approach. In: Light Pollution: The Global View. SCHWARZ, H.E.-Editor. La Serena, Chile, 2003.
- DI SORA, M., Comunicação pessoal relativa aos resultados da Lei contra a poluição luminosa na Itália, 2007.
- DI SORA, M., Light pollution and energy saving: excellent results obtained in the application of new regulations. In: CINZANO, P.(Ed.) Light pollution and the protection of the night environment. Light Pollution Science and Technology Institute. Thiene, Itália, 2002.
- ELVIDGE, C. D., KROEHL, H. W., KIHN, E. A., BAUGH, K. E., DAVIS, E. R., & HAO, W. M., Algorithm for the retrieval of fire pixels from DMSP Operational Linescan System Data. In Biomass Burning and Global Change – Vol. 1: Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa edited by J. S. Levine (MIT Press: Cambridge MA), Cambridge, Inglaterra, 1996.
- ELVIDGE C.D., BAUGH K.E., HOBSON V.H., KIHN E.A., KROEHL H.W., DAVIS E.R., COCERO D., Global Change Biology, 3, 387-395, Oxford, Inglaterra, 1997c.
- ELVIDGE C.D., BAUGH K.E., KIHN E.A., KROEHL H.W., DAVIS E.R., International Journal Remote Sensing, 18, 18, 1373-1379, Londres, Inglaterra, 1997b.
- ELVIDGE C.D., BAUGH K.E., KIHN E.A., KROEHL H.W., DAVIS E.R., Photogram. International Journal Remote Sensing, 63, 727-734, Londres, Inglaterra, 1997a.
- GARSTANG, R.H., Model for artificial night-sky illumination. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 98, San Francisco, Estados Unidos, 1986.

- GENT, R.L., Disponível em <http://kvowsterplanets.blogspot.com>. Acesso em 07 de julho de 2007.
- GLICKMAN, G., LEVIN, R., BRAINARD, G. C. Ocular Input for Human Melatonin Relevance to Breast Cancer. *Neuroendocrinology Letters*. Filadelfia, Estados Unidos, 2002.
- GLIWICZ, Z.M., Predictability of seasonal and diel events in tropical and temperate lakes and reservoirs. In: Tundisi J.G, Straskraba M (Eds). *Theoretical reservoir ecology and its applications.*: International Institute of Ecology. São Carlos, Brasil, 1999.
- GODOY, M.L., A técnica de miticultura na preservação de tartarugas marinhas na comunidade de pescadores da Praia de Almada-Ubatuba-SP:um estudo de caso. *Dissertação de Mestrado - Centro de Federal de Educação Tecnológica do Paraná-CEFET-PR*. Paraná, Brasil, 2003.
- GOOGLE EARTH – Disponível em <http://earth.google.com/>. Acesso em 10 de setembro de 2007.
- HADDAD, J., & YAMACHITA, R. A., *Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*. ELETROBRÁS/PROCEL, Ed. EFEI, 3a Edição, Itajubá, Brasil, 2001.
- HILL, D., The impact of noise and artificial light on waterfowl behaviour: a review and synthesis of the available literature. Norfolk, United Kingdom: British Trust for Ornithology Report No. 61. Norfolk, Inglaterra, 1990.
- HOLLAN, J., How should the light pollution be controlled – an experience from the Czech Republic. N. Copernicus Observatory and Planetarium in Brno lecture at Ecology of the Night, Brno, República Tcheca, 2003.
- HOUSE OF COMMONS, *Light Pollution and Astronomy*, Science and Technology Committee Publications – Volume 1, Londres, Inglaterra, 2003.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/>. Acesso em 16 de julho de 2007.
- IDA – International Dark-Sky Association - Disponível em <http://www.darksky.org/resources/information-sheets/>. Acesso em novembro de 2006.
- IDA – International Dark-Sky Association - Disponível em <http://www.darksky.org/resources/information-sheets/is011.html>. Acesso em junho de 2007.

- IAC - INSTITUTO DE ASTROFÍSICAS DE CANÁRIAS. Disponível em <http://www.iac.es/adjuntos/otpc/norma.jpg>; <http://www.iac.es/proyect/otpc/images/lamp.gif>. Acesso em 27 de abril de 2007.
- IAC - INSTITUTO DE ASTROFÍSICAS DE CANÁRIAS - La Contaminacion Lumínica, Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo. Disponível em <http://www.iac.es/servicios.php?op1=28>. Acesso em 3 de dezembro de 2004.
- IBAMA. Legislação – Resoluções. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/>. Acesso em 20 nov 2006.
- JUNQUERA, M. I., Comunicação pessoal relativa as leis existentes na Espanha.
- KOLLÁTH, Z., Towards limiting light pollution in Hungary. In: CINZANO, P.(Ed.) Light pollution and the protection of the night environment. Light Pollution Science and Tecnology Institute. Thiene, Itália, 2002.
- LNA – LABORATÓRIO NACIONAL DE ASTROFÍSICA. Disponível em www.lna.br. Acesso em 6 de junho de 2007.
- LONGCORE, T. & RICH, C. Ecological light pollution. The Ecological Society of America, Los Angeles, Estados Unidos, 2004.
- MENDEZ, R., & SCHMIDT, R., La Contaminación Lumínica: ¿Cómo Afecta a la Astronomía? http://www.ctio.noao.edu/light_pollution/efectos.html. Acesso em 10 de novembro de 2006.
- MIRANDA, P.D. Discurso del representante de CONAMA. Light Pollution: The Global View. SCHWARZ, H.E.-Editor. La Serena, Chile, 2003.
- MITTON J., RAS Press Notice, PN01/27, The Royal Astronomical Society. Cambridge, Inglaterra, 2001.
- NARISADA, K., & SCHREUDER, D., Light Pollution Handbook. Series: Astrophysics and Space Science Library, Vol. 322, Hardcover Ed., Dordrecht , Holanda, 2004.
- NETRESIDUOS – Disponível em <http://www.netresiduos.com/cir/rsurb/lampadas.htm>. Acesso em 11/06/2007.
- NEVES, A. I., Consultor ambiental da empresa Ambiente & Qualidade, comunicação pessoal.
- OBSERVATÓRIO MUNICIPAL DE CAMPINAS – Disponível em <http://http://www.campinas.sp.gov.br/observatorio/observatorio.htm>. Acesso em 8 de abril de 2007.

- OSRAM - Linha de Produtos OSRAM-incandescentes.pdf. Disponível em <http://www.osram.com.br>. Acesso em 10 de fevereiro de 2007.
- PARK, O. Nocturnalism - The development of a problem. Ecol Monogr 10. 1940, Columbus, Ohio, Estados Unidos.
- PHILIPS - Disponível em http://www.luz.philips.com/latam/archives/Guia_Iluminacao_2004.pdf. Acesso em 4 de julho de 2007.
- RAND, A.S. BRIDAROLLI, M.E, DRIES L, and RYAN M.J. Light levels influence female choice in Tungara frogs: predation risk assessment? Copeia. 1997. Miami, Estados Unidos.
- REITER, R.J. Melatonin: the chemical expression of darkness. Mol Cell Endocrinol 79. San Antonio, Texas, Estados Unidos, 1991.
- RODRIGUES, C. W., Toxicologia - Ciências Biológicas e Biomedicina - http://www.ebras.bio.br/autor/aulas/aulas_toxicologia.pdf. Acesso em 06/07/2007.
- ROSITO, L. H., Conceitos de iluminação pública eficiente. PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. LABELO – Laboratórios Especializados em Eletro-Eletrônica. CEIP – Centro de Excelência em Iluminação Pública, Porto Alegre, Brasil, 2006.
- SALMON, M. Artificial night lighting and sea turtles. Biologist 50. Boca Raton, Flórida, Estados Unidos, 2003.
- SALMON, M. TOLBERT, M,G. PAINTER, D.P. *et al.* Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. J Herpetol 29. Boca raton, Flórida, Estados Unidos, 1995.
- SANHUEZA, P.A. & SANTANDER, M.P. Protecting the night sky of northern Chile: An environment and cultural heritage. In: Light Pollution: The Global View. SCHWARZ, H.E.-Editor. La Serena, Chile, 2003.
- SCHRÉDER – Disponível em <http://www.schreder.com>. Arquivo: DossierNCSchrederPT.pdf. Acesso em 19 de maio de 2007.
- SCHWARTZ, A & HENDERSON, R.W. Amphibians and reptiles of the West Indies: descriptions, distributions, and natural history. University of Florida Press. Gainesville, Flórida, Estados Unidos, 1991.
- SILVA, S.T., Poluição visual e poluição sonora: aspectos jurídicos. Revista de Informação Legislativa Brasília a. 40 n. 159 jul./set. Brasília, Brasil, 2003.

SILVESTRE, R.F., 2003, Revista Macrocosmo. Disponível em www.revistamacrocosmo.com. Acesso em 23 mar 2004.

TARSIA, R. D., Comunicação pessoal relativa à Lei Municipal de Caeté, 2007.

TOPBULB – Disponível em <http://www.topbulb.com>. Acesso em 22 de maio de 2007.

WALKER, M.F. The California Site Survey, Publ. Astron. Soc. Pacif, San Francisco, Estados Unidos, 1970.

ANEXOS

I – COMUNICAÇÃO PESSOAL

19/07/2007

FABIO FALCHI

Dear Mr. Gargaglioni,

I'd like to know more on you and on your dissertation. Can you send it to me?

Read this document of Dr. Cinzano

(http://www.lightpollution.it/download/cinzano_unesco_techmeasures.pdf) on

the tech spec tha a law should have to be effective. Keep in mind that up to now in Italy we have 8 out of 20 regions with laws similar to that of Lombardy (0 cd/klm at 90 degree and above), 2 regions with slightly higher limits, 2 more with a 3% allowed flux.

Best regards,

FABIO FALCHI

Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso - ISTIL

Light Pollution Science and Technology Institute

08/08/2007

IVO NEVES

"A ISO 14001 objetiva estabelecer um padrão internacional para gestão de meio ambiente em organizações públicas e privadas, dos diversos seguimentos de mercado. Sua estrutura, baseada em um ciclo P-D-C-A (Plan-Planejar, Do-Fazer, Check-quecar e Action-Agir) e com o foco na melhoria contínua, possibilita a qualquer organização tratar o tema ambiental de forma profissional.

Dentre os diversos aspectos ambientais gerenciáveis, tais como os resíduos sólidos, os efluentes industriais, as emissões atmosféricas podemos citar também a Poluição Luminosa. Este tipo de aspecto é pouco citado nos Sistemas de Gestão Ambiental brasileiros, já que existem poucos diplomas legais leis que regem itens mínimos de atendimento.

Como exemplo, temos os diplomas legais, Portaria Ibama nº 11 de 30/1/95 que descreve limites/práticas a serem seguidas. Estes devem ser contempladas no caso de implantação de Sistema de Gestão Ambiental que elas se apliquem.

A ISO 14001 busca abranger todas as situações que possam interagir de forma negativa ao meio ambiente e propor atividades de gerenciamento cabíveis. No caso da Poluição Luminosa, que afeta o comportamento de animais e seus hábitos, a ISO 14001 pode colaborar na minimização destes impactos."

Ivo Neves

Sócio-diretor

Ambiente & Qualidade

05/06/2007
JAN VONDRAK

Dear Mr. Gargaglioni,

thank you very much for your interest in our laws concerning the light pollution. Since I am definitely no expert in this field, I am forwarding your requirement to the Secretary of the Czech Astronomical Society, Mr. Pavel Suchan, who has been involved deeply in preparing the Czech law.

With my best regards, Jan Vondrak

05/06/2007
JIRI GRYGAR

Dear colleague,

the best contact person re: light pollution in our country is Dr. Jan Hollan from Brno Public Observatory. He is the driving force of anti-light-pollution activities in our country. His e-mail is:

"RNDr.Jan Hollan" <jhollan@XXXXXX.cz>

I am sure he will be pleased to help you as much as possible.

Sincerely yours,
Jiri Grygar

20/07/2007
JOSÉ RICARDO ABALDE

Caro Saulo,

pode sim usar as imagens obtidas no equipamento do container. Favor de colocar os créditos como sendo da equipe do Laboratório de Física e Astronomia da UNIVAP. O equipamento é um fotômetro imageador "all sky" de alta resolução que trabalha obtendo imagens com sete filtros de interferência e uma oitava posição sem filtro (o fundo ou céu natural). Opera no LNA por um convenio técnico científico entre LNA e UNIVAP no ano de 2002 (época do diretor ALBERT JOSEF RUDOLF BRUCH). Os dados do equipamento óptico são utilizados na pesquisa científica da atmosfera terrestre, região da ionosfera e mesosfera.

Prof. Abalde

30/05/2007

MARIO DI SORA

Dear Saulo,

I am sorry for my delay to send you my answer.

Italy is the country in the world with many regional laws against light-pollution. There are not all similar but some are very good to limit it and power consumptions.

If you want you can see the following web sites:

www.campocatinobservatory.org/aoccit.html section inquinamento luminoso; section Oril Lazio.

www.cielobuio.org

www.darksky.org

Tell me if you need of particular matter about light pollution.

sincerely yours

Mario Di Sora

President of IDA Italian Section

17/07/2007

MARIO DI SORA

Dear Saulo, yes.

The law of Lazio region works very good near our observatory (Campo Catino Observatory). And we have recovered within seven years about 0.8 magnitude! best wishes

Mario

31/05/2007

PIERANTONIO CINZANO

Happy to know that you are working on this important argument. The main web site about Italian laws is www.cielobuio.org. It is in Italian language (except few pages in English) but maybe that you can understand, if your language is Spanish. See also www.savethenight.eu and www.lightpollution.it for other informations on light pollution. In this web site, and also in www.istil.it, you find books on line and scientific papers.

Good work,

Pierantonio

=====

Pierantonio Cinzano

Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL)

21/06/2007

PIERANTONIO CINZANO

Sorry for the long delay. Documents in english are few. Here the link to a paper that might be of interest for you.

http://www.lightpollution.it/download/cinzano_unesco_techmeasures.pdf

See also documents here:

<http://cielobuio.org/lombardy.php>

and

<http://cielobuio.org/Article1120.html>

www.lightpollution.it/roadpollution/

For other, see the web sites that I already suggested you.

I was co-advisor of three of them at the University of Padova. I do not know if someone ever made a list of thesis about light pollution made in Italian Universities. I forward this email to Fabio Falchi, who made one of them. Maybe he knows.

Pierantonio