



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



Mapeamento da Poluição Luminosa do bioma Cerrado

Discente: Maria Cristina Xavier e Azevedo

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Azevedo Sobreira

Goiânia

2013

Maria Cristina Xavier e Azevedo

Mapeamento da Poluição Luminosa do bioma Cerrado

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás com vistas à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Azevedo Sobreira

Goiânia

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

A994m Azevedo, Maria Cristina Xavier e.
Mapeamento da poluição luminosa do bioma Cerrado
[manuscrito] / Maria Cristina Xavier e Azevedo. – 2013.
123 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Azevedo Sobreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de
Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2013.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, tabelas, siglas, símbolos e
medidas.

1. Poluição luminosa – Cerrado. 2. Sensoriamento
remoto. I. Título.

CDU: 504.5:628.9(251.3)

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Maria Cristina Xavier e Azevedo		
E-mail:	mxcazevedo@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor			
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:	GO CNPJ:
Título:	Mapeamento da Poluição Luminosa do bioma Cerrado		
Palavras-chave:	Poluição Luminosa, Sensoriamento Remoto, Cerrado, Goiânia		
Título em outra língua:	Mapping the Light Pollution of the Cerrado biome		
Palavras-chave em outra língua:	Light Pollution, Remote Sensing, Cerrado, Goiânia		
Área de concentração:	Natureza e Produção do Espaço		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	14/05/2013		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia		
Orientador (a):	Prof. Dr. Paulo Henrique Azevedo Sobreira		
E-mail:	sobreiracosmografia@yahoo.com.br		
Co-orientador (a):*			
E-mail:			

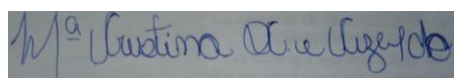
*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.



Data: 12 / 11 / 2013

Assinatura do (a) autor (a)

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Maria Cristina Xavier e Azevedo

Mapeamento da Poluição Luminosa do bioma Cerrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre em Geografia, aprovada em 14 de maio de 2013, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Paulo Henrique Azevedo Sobreira - Orientador

Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira - UFG

Prof. Dr. Juan Bernardino Marques Barrio - UFG

DEDICATÓRIA

*À minha mãe, pelo amor, carinho, dedicação,
compreensão e incentivo em todos os momentos da
minha vida.*

RESUMO

A presente dissertação de mestrado teve como objetivo geral realizar uma análise da intensidade da poluição luminosa desencadeada pelo crescimento urbano ocorrido no bioma Cerrado e na Região Metropolitana de Goiânia no período de 1992 a 2010. Para tanto, o presente trabalho valeu-se de dados de sensoriamento remoto, especificamente das imagens do sistema sensor DMSP-OLS (*Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System*) e de técnicas de geoprocessamento para espacialização e mensuração da poluição luminosa. Como parte dos resultados, reconhece-se que as manchas de luz concentram-se, sobretudo, nas metrópoles e nos principais centros urbanos, em consequência da maior concentração populacional. Na Região Metropolitana de Goiânia, a capital apresenta os maiores índices de consumo de energia elétrica e a maior concentração populacional do Estado; conseqüentemente, possui a maior mancha de poluição luminosa da Região.

Palavras-Chave: Poluição Luminosa, Sensoriamento Remoto, Cerrado, Goiânia.

ABSTRACT

This dissertation aimed to fulfill a general analysis of the intensity of the light pollution triggered by urban growth occurred in the Cerrado biome and in the Metropolitan Region of Goiânia in the period from 1992 to 2010. To this end, the present work drew on remote sensing data, specifically of the images of the sensor system DMSP-OLS (Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System) and of Geoprocessing techniques for spatialization and measurement of light pollution. As part of the results, it is recognized that the light spots are concentrated mainly in metropolis and major urban centers, in consequence of the largest population concentration. In the metropolitan region of Goiânia, the capital has the highest indexes of consumption of electrical energy and the largest population concentration of the state; consequently, holds the largest spot of the light pollution in the region.

Key – Words: Light Pollution, Remote Sensing, Cerrado, Goiânia.

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1 – Espectro eletromagnético	17
Figura 2 – Variação de eficiência energética de acordo com o grupo de lâmpadas	19
Figura 3 – Ilustração dos tipos de poluição luminosa causada pela propagação das luzes	22
Figura 4 – Brilho no céu noturno da cidade de Goiânia, Goiás	23
Figura 5 – Ofuscamento gerado pela quantidade de lâmpadas acesa	24
Figura 6 – Luz intrusiva provocada por iluminação ineficiente	25
Figura 7 – Lâmpada incandescente	26
Figura 8 – Variação da tonalidade de cor de lâmpada	27
Figura 9 – Modelos de lâmpadas halógenas	28
Figura 10 – Índice de reprodução de cores – IRC	28
Figura 11 – Lâmpada vapor de mercúrio à alta pressão	30
Figura 12 – Lâmpada vapor de sódio à baixa pressão	30
Figura 13 – Lâmpada vapor de sódio à alta pressão	31
Figura 14 – Modelos de lâmpadas multivapor	32
Figura 15 – Modelos de lâmpadas fluorescentes	33
Figura 16 – Modelos de lâmpadas LEDs	34
Figura 17 – Espectro comparativo de algumas lâmpadas elétricas	35
Figura 18 – Espectro da lâmpada de LED	36
Figura 19 – Tipos de distribuição luminosa de luminárias	37
Figura 20 – Modelos de luminárias obsoletas	39
Figura 21 – Modelos de luminárias eficientes	40
Figura 22 – Tartaruga marinha	47
Figura 23 – A iluminação ineficiente na orla das praias pode comprometer a orientação dos animais marinhos	48
Figura 24 – Iluminação do Hotel Vila Galé na Praia de Guarajuba em Camaçari, Bahia	49
Figura 25 – Foto noturna do Distrito Federal, Brasil, 2010	51
Figura 26 – Foto noturna da cidade de Tóquio, Japão, 2008	52
Figura 27 – Foto noturna da cidade de Dubai, Emirados Árabes Unidos, 2009	53
Figura 28 – Imagem noturna de Milão na região de Lombardia, Itália, 2011	54
Figura 29 – Localização do bioma Cerrado em relação aos Estados do Brasil	56
Figura 30 – Recorte da América do Sul, imagem <i>cloud free coverages band</i> , DMSP/OLS – F10 1992	61
Figura 31 – Recorte da América do Sul, imagem <i>average visible</i> , DMSP/OLS – F10 1992	61
Figura 32 – Recorte da América do Sul, imagem <i>stable lights</i> , DMSPT/OLS – F10 1992	62
Figura 33 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1992	69
Figura 34 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1993	70
Figura 35 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1994	72
Figura 36 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1995	73
Figura 37 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1996	74
Figura 38 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1997	76
Figura 39 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1998	77
Figura 40 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1999	79
Figura 41 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2000	81
Figura 42 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2001	82
Figura 43 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2002	83

Figura 44 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2003	85
Figura 45 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2004	86
Figura 46 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2005	87
Figura 47 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2006	88
Figura 48 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2007	90
Figura 49 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2008	91
Figura 50 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2009	92
Figura 51 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2010	94
Figura 52 – Representação dos valores anuais da área de luzes no bioma Cerrado	98
Figura 53 – Mapa de localização da Região Metropolitana de Goiânia - 2010	99
Figura 54 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 1999	102
Figura 55 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2000	103
Figura 56 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2001	104
Figura 57 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2002	104
Figura 58 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia - 2003	105
Figura 59 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2004	105
Figura 60 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2005	106
Figura 61 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2006	106
Figura 62 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2007	107
Figura 63 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2008	107
Figura 64 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2009	108
Figura 65 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2010	108
Figura 66 – Evolução do consumo de energia elétrica total da Região Metropolitana de Goiânia, 2005 a 2010	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas evolutivas da produção de luz	Pg. 20
Tabela 2 – Características das luminárias públicas conforme conceito	38
Tabela 3 – Valores anuais de áreas luminosas – km ²	97
Tabela 4 – Dados censitários de 2000 e 2010 da Região Metropolitana de Goiânia	101
Tabela 5 – Maiores municípios consumidores de energia elétrica – Mwh	110

LISTA DE SIGLAS

EI	- Estação Espacial Internacional
DMS	- <i>Defense Meteorological Satellite Program</i>
OLS	- <i>Operational Linescan System</i>
LED	- <i>Light Emitting Diode</i>
REM	- Radiação Eletromagnética
CONAMA	- <i>Comisión Nacional del Medio Ambiente</i>
UV	- Radiação Ultravioleta
NBR	- Norma Brasileira
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
RELUZ	- Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente
ELETOBRÁS	- Centrais Elétricas Brasileiras S. A
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
SMC	- <i>Air Force Space and Missile Systems Center</i>
AFWA	- <i>Air Force Weather Agency</i>
NGDC	- <i>National Geophysical Data Center</i>
EOG	- <i>Earth Observation Group</i>
TIR	- Radiação do infravermelho termal
NIR	- Radiação do infravermelho próximo
PMT	- <i>Photo Multiplier Tube</i>
NOAA	- <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ISTIL	- <i>Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso</i>
IDA	- <i>International Dark-Sky Association</i>
LPLAB	- <i>Laboratorio di Fotometria e Radiometria dell'Inquinamento Luminoso</i>
ENVI	- <i>Environment Visualizing Images</i>
EVF	- <i>Envi Vector File</i>
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
PNE	- Plano Nacional de Energia
RMG	- Região Metropolitana de Goiânia

LISTA DE SÍMBOLOS E MEDIDAS

km^2	- Quilômetro quadrado
μm	- Micrômetro
lm/W	- Lúmen por watt
K	- Kelvin
IRC	- Índice de reprodução de cor
W	- Watt
TWh	- Terawatts por hora
MWh	- Megawatts por hora
W/m^2	- Watts por metro quadrado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	Pg. 14
CAPÍTULO 1 – A LUZ E A POLUIÇÃO LUMINOSA	17
1.1 LUZ	17
1.2 DO FOGO À LUZ ARTIFICIAL	18
1.3 POLUIÇÃO LUMINOSA E SEUS EFEITOS NO MUNDO ATUAL	21
1.4 CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS	25
1.5 LÂMPADA INCANDESCENTE	26
1.5.1 Lâmpada halógena	27
1.6 LÂMPADAS DE DESCARGA	29
1.6.1 Lâmpada vapor de mercúrio	29
1.6.2 Lâmpada vapor de sódio	30
1.6.3 Lâmpada vapor metálico	31
1.6.4 Lâmpada fluorescente	32
1.7 <i>LIGHT EMITTING DIODE</i> – LED	33
1.8 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO COMPARATIVO DE LÂMPADAS	34
CAPÍTULO 2 – AS CONSEQUÊNCIAS DA POLUIÇÃO LUMINOSA	37
2.1 MODELOS DE ILUMINAÇÃO	37
2.2 IMPACTOS DA POLUIÇÃO LUMINOSA	41
2.2.1 Impacto social	41
2.2.2 Impacto ecológico	43
2.2.3 Impacto econômico	49
CAPÍTULO 3 – A POLUIÇÃO LUMINOSA NO BIOMA CERRADO	55
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	55
3.2 O PROGRAMA DMSP E AS IMAGENS NOTURNAS	59
3.3 ELABORAÇÃO DO MAPA DE POLUIÇÃO LUMINOSA	66
3.4 POLUIÇÃO LUMINOSA SOBRE OS ESTADOS	68
3.5 CRESCIMENTO DA POLUIÇÃO LUMINOSA	96
3.6 POLUIÇÃO LUMINOSA NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA	99
CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

INTRODUÇÃO

A iluminação noturna, refletida no céu das cidades, pode afetar diretamente o bem-estar dos seres vivos. Isso é consequência, principalmente, da adoção de modelos de luminárias obsoletas, instaladas nas vias públicas, uma vez que esses modelos contribuem para o surgimento e para a expansão da poluição luminosa, fenômeno pouco estudado e pouco conhecido pela sociedade brasileira, mas causador de diversos impactos ambientais, bem como de impacto econômico, caracterizado pelo desperdício energético gerado por modelos de luminárias que favorecem o escape da luz para cima do horizonte e para suas laterais, não iluminando apenas o chão das vias públicas e dos imóveis em geral. Assim, com a perda do fluxo luminoso, nota-se a formação de um intenso brilho no céu noturno em áreas densamente povoadas, podendo comprometer a qualidade de vida dos seres vivos e também os trabalhos de observações astronômicas.

O desperdício de energia é observado, por exemplo, pelos tripulantes da Estação Espacial Internacional (EEI), os quais registram, por meio de fotografias digitais, as diversas formas de ocupação dos seres humanos sobre a superfície terrestre. O fenômeno é também registrado nas imagens do sistema sensor *Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System* (DMSP/OLS), que, com uma resolução espacial de 1 km, dispõe de uma tecnologia sensível às radiações da faixa entre 0,5 a 0,65 μm do espectro, extensão correspondente à da maioria das lâmpadas de iluminação externa (CINZANO et al., 2000).

Há algumas décadas, os Estados Unidos e alguns países europeus, especialmente a Itália, utilizam imagens de satélite DMSP/OLS para mapear, acompanhar e estimar a evolução da poluição luminosa em seus territórios. No Brasil, os dados levantados sobre este tema estão limitados aos alertas que astrônomos profissionais e amadores fazem sobre o aumento do brilho do céu noturno nos centros urbanos e à herança das ações do Ano Internacional da Astronomia – 2009, em que uma das metas consistiu em apoiar a preservação e a proteção do céu escuro, por meio de campanhas de combate à poluição luminosa.

Dentre as pesquisas sobre o assunto, destacam-se os estudos de Barghini (2010), que constatou a influência da iluminação sobre os insetos; a análise legal que Gargaglioni (2007), fez sobre os impactos provocados pela poluição luminosa no ambiente; as considerações do Projeto Tamar sobre a iluminação artificial, ressaltando a importância de adequar a iluminação da orla nas praias onde ocorre a desova de tartarugas, a fim de não prejudicar a orientação desses animais; e ainda os estudos apresentados por Azevedo et al. (2010, 2011a)

sobre a necessidade de mapear a dimensão da poluição luminosa no Brasil. Estes últimos autores realizaram uma análise preliminar e propuseram avaliar a taxa de urbanização do bioma Cerrado a partir de imagens do sistema sensor DMSP/OLS (AZEVEDO et al., 2011b).

Diante dessas considerações, este trabalho nasceu da necessidade de se conhecer a real extensão da poluição luminosa sobre o bioma Cerrado por meio do uso de imagens do sistema sensor DMSP-OLS. O recorte temporal pesquisado é o período entre 1992 e 2010, por serem estes os anos disponíveis para *download* à época desta pesquisa. Assim, a presente dissertação possui como objetivo geral realizar uma análise da localização e da intensidade da poluição luminosa concomitante à expansão urbana ocorrida no bioma Cerrado.

Partindo desse objetivo principal, têm-se como objetivos específicos: 1) mapear, por meio de imagens do sistema sensor DMSP-OLS, a ocorrência da poluição luminosa no Cerrado; 2) abordar os impactos social, ecológico e econômico provocados por esse fenômeno.

A estrutura do trabalho é constituída por três capítulos. O primeiro, intitulado “A luz e a poluição luminosa”, tem como foco discorrer a respeito da poluição luminosa, tema que, internacionalmente, vem ganhando destaque dada a amplitude de situações causadas por este fenômeno; apresentar as características dos grupos e subgrupos de lâmpadas incandescentes e de descargas; e discorrer a respeito da mais nova tecnologia no mercado consumidor: as lâmpadas de LED (*Light Emitting Diode*).

No segundo capítulo, “As consequências da poluição luminosa”, são abordadas as características dos modelos de iluminação e os três tipos de impactos gerados pela poluição luminosa: social, ecológico e econômico, os quais variam em escala (local, regional e global) e atingem proporções cada vez maiores, ao ponto de afetar os seres humanos, a fauna e a flora.

O terceiro capítulo, “A poluição luminosa no bioma Cerrado”, expõe as informações sobre as imagens originadas do sistema sensor DMSP/OLS e demonstra sua aplicabilidade e potencial nos estudos sobre poluição luminosa. Em seguida, apresenta-se o procedimento metodológico empregado em cada uma das imagens analisadas, bem como a elaboração dos produtos cartográficos para a área de estudo, incluindo um recorte especial, e a análise do aumento da poluição sobre os Estados brasileiros. Finalmente, avalia-se a expansão do fenômeno sobre a Região Metropolitana de Goiânia que, por possuir uma localização estratégica e apresentar uma economia diversificada, atrai um grande fluxo de migrantes do Estado de Goiás e de outros Estados.

O trabalho é finalizado com as considerações sobre os resultados encontrados, as vantagens e deficiências de um estudo desta natureza, bem como a apresentação de sugestões para futuros trabalhos que foquem essa temática.

CAPÍTULO 1 – A LUZ E A POLUIÇÃO LUMINOSA

Neste capítulo são apresentadas as principais características da poluição luminosa, tema de grande importância, dada a amplitude de impactos ambientais que pode gerar, porém, pouco conhecido pela sociedade brasileira.

1.1 LUZ

A luz ou a radiação visível corresponde ao conjunto de radiações eletromagnéticas a que os olhos humanos são sensíveis, representando a faixa de comprimento de onda na qual os limites, por não serem perfeitamente definidos, são considerados entre 0,38 e 0,40 μm (micrômetro) como limite inferior, e entre 0,76 e 0,78 μm como limite superior (COTRIM, 2003). As radiações eletromagnéticas (REM)¹ com ondas inferiores a 0,40 μm possuem comprimentos de ondas curtas (alta frequência), enquanto as ondas superiores a 0,78 μm possuem baixa frequência devido ao comportamento ondulatório ser longo.

A Figura 1 mostra o espectro eletromagnético e suas principais faixas, as quais variam de acordo com a frequência e o comprimento das ondas que são conhecidas por:

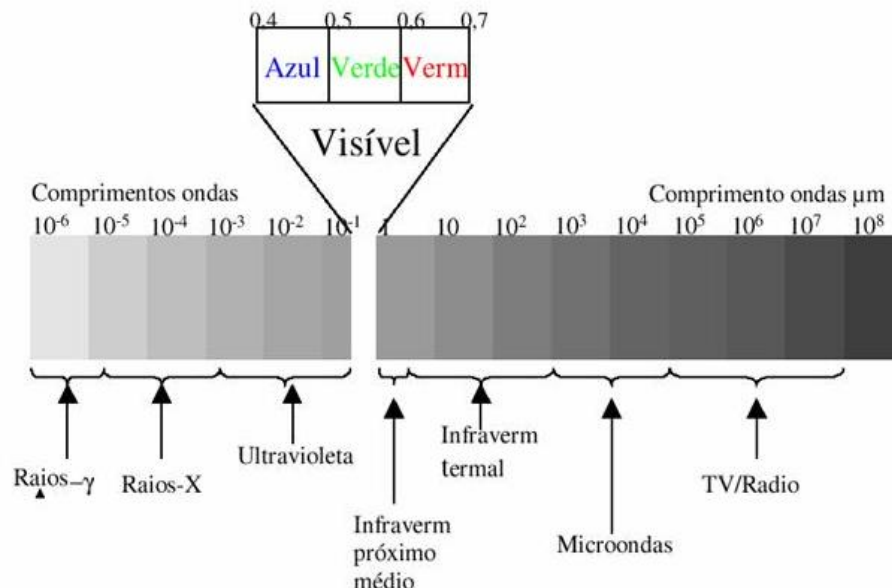


Figura 1 – Espectro eletromagnético

Fonte: Engenharia Cartográfica – UFRGS

Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>>. Acesso em: 30 fev. 2013.

¹ São radiações que se propagam como ondas e não precisam de um meio para essa propagação, sendo possível até mesmo no vácuo. São originadas por dois campos, o elétrico e o magnético, que oscilam perpendicularmente, um em relação ao outro, no sentido de propagação da onda (FITZ, 2008).

1.2 DO FOGO À LUZ ARTIFICIAL

A descoberta e a conquista do fogo alteraram o modo de viver do homem pré-histórico. A luz produzida pelo fogo passou a iluminar as noites, tornando-as mais quentes e vivas e até mesmo irmanando os homens em torno das fogueiras. Assim, o domínio sobre o fogo introduziu o ser humano no primeiro estágio da produção da luz já que a luz agregou, uniu, promoveu o compartilhar e arregimentou o ser humano na formação dos primeiros clãs.

A produção da luz pode ser considerada, segundo Costa (2006), em quatro etapas ou gerações técnicas: a primeira ocorreu com a conquista da arte de manipular o fogo, com o desenvolvimento de objetos que permitissem seu acondicionamento, facilitassem seu transporte e permitissem iluminar a caverna e cozinhar também os primeiros alimentos, como destacado por Salvetti (2008, p. 14):

O homem pré-histórico usava lamparinas primitivas para iluminar sua caverna. Essas lamparinas feitas de material como rochas, conchas e cifres, eram preenchidos com gordura animal ou vegetal como combustível, e usavam pavio de fibra.

A segunda fase ocorreu em 1784, no final do século XVIII, quando o físico Aimé Argand (1750 - 1803) conseguiu aumentar o potencial de luz da chama da lâmpada, utilizando o gás acetileno. A “lâmpada de *Argand*” trouxe melhorias à iluminação artificial pública, passando a ser um grande diferencial em relação à iluminação existente até então. A partir de 1807, o gás acetileno começou a ser utilizado nas ruas de Londres e, em 1819, em Paris. Já para iluminação doméstica, o uso do gás teve início em 1840 na Europa e nos Estados Unidos. Assim, até a primeira metade do século XIX, as melhorias ocorreram nas técnicas empregadas para a produção da luz: lâmpadas a óleo, velas, gás natural e gás de acetileno (COSTA, 2006).

Thomas Alva Edison (1847-1931) marcou a terceira fase, apresentando, em 1879, a lâmpada incandescente com filamento de carvão e promovendo uma revolução no sistema de iluminação da época. Embora não seja o inventor da lâmpada incandescente², ele a patenteou e este foi o primeiro modelo a ser produzido em escala industrial.

A última fase remete aos dias atuais, com a busca por sistemas de iluminação que possam integrar fontes luminosas com sistemas ópticos, possibilitando elevado rendimento

² Em 1854, o mecânico alemão Heinrich Goebel (1818-1893) construiu a primeira lâmpada incandescente, empregando um filamento de carvão, dentro de um bulbo de vidro, acionada por pilhas primitivas. Por falta de incentivos e dificuldades, seu trabalho não teve continuidade (CAVALIN, 1998).

luminoso³ e boa reprodução de cores, como o que está sendo alcançado com a lâmpada de LED (*Light Emitting Diode*).

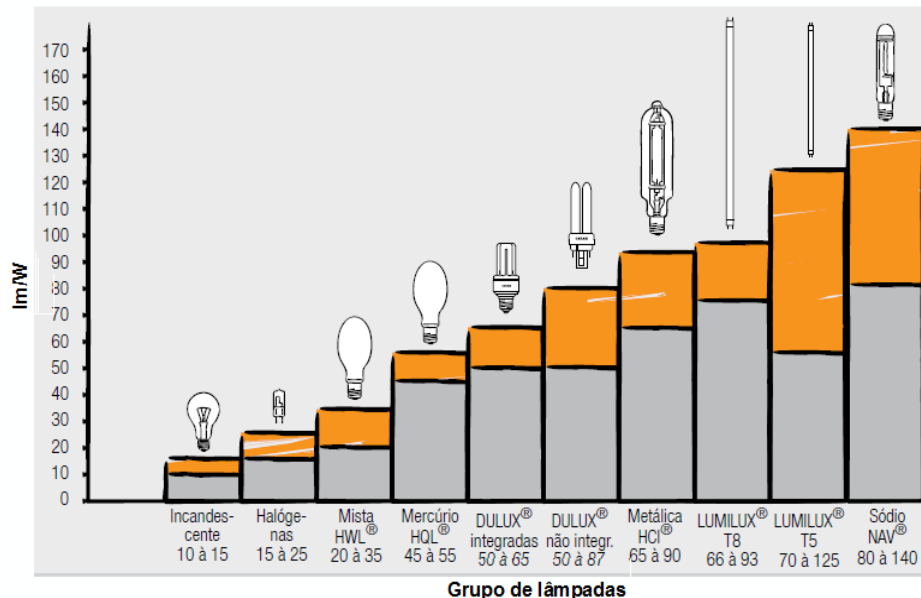


Figura 2 – Variação de eficiência energética de acordo com o grupo de lâmpadas

Fonte: Manual de Curso de Iluminação, Conceitos e Projetos - OSRAM

Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_&_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao,_Conceitos_e_Projetos/Manual_Luminotecnico_-_parte_01.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2012.

Até a primeira metade do século XIX, as melhorias ocorreram nas técnicas empregadas para a produção de luz nas lâmpadas a óleo, velas, gás natural e de acetileno. A lâmpada incandescente desenvolvida por Thomas Alva Edison possuía baixa eficiência energética, o que só foi solucionado com a substituição do filamento de carvão pelo de tungstênio, aumentando o rendimento luminoso, melhorando a reprodução de cores e impulsionando o consumo dessas lâmpadas.

As lâmpadas de descarga em gases, como a fluorescente, foram desenvolvidas juntamente com os estudos e as pesquisas sobre descargas elétricas em atmosferas gasosas na segunda metade do século XIX. As características técnicas das lâmpadas fluorescentes, tais como a melhor reprodução de cores e a maior eficiência luminosa e energética, motivaram o uso residencial delas.

³ Eficiência luminosa ou eficiência energética ou rendimento luminoso é a relação com que a energia elétrica consumida é convertida em luz. É medida em lumens por watt (lm/W) e, para cada watt consumido, uma lâmpada incandescente produz de 10 a 15lm/W; uma metálica HCL, de 65 a 90 lm/W, e uma de vapor de sódio NAV, de 80 a 140 lm/W (Figura 2).

Na Tabela 1, são apresentadas as etapas das fontes de iluminação com os respectivos anos de desenvolvimento, desde a descoberta do fogo, passando pela vela, pelo lampião e pelos diversos tipos de lâmpadas até as mais utilizadas atualmente pelos consumidores.

Tabela 1 – Etapas evolutivas da produção de 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
Século I	Vela de cera
1780	Vela de espermacete
1784	Lâmpião Argand
1803	Lâmpião a gás de carvão
1808	Arco voltaico
1830	Vela parafínica
1847	Lâmpião de óleo parafínico
1878	Lâmpada incandescente de carvão
1880	Arco voltaico controlado
1887	Lâmpião com camisa
1893	Arco voltaico encapsulado
1901	Lâmpada vapor de mercúrio de baixa pressão
1902	Lâmpada incandescente de ósmio
1906	Lâmpada incandescente de tântalo
1907	Lâmpada incandescente de tungstênio
1908	Lâmpada vapor de mercúrio de 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 de alta pressão
1959	Lâmpada halógena
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, 2006.

Observa-se que, enquanto no início dos tempos a civilização preocupava-se em como manter acesa a chama produzida pelo fogo, hoje, além de existirem mais de 5.000 tipos de lâmpadas (SILVA, 2004), a moderna iluminação procura desenvolver modelos que tenham baixo consumo energético com alta eficiência luminosa.

1.3 POLUIÇÃO LUMINOSA E SEUS EFEITOS NO MUNDO ATUAL

Até pouco tempo, a poluição luminosa era um problema ambiental pouco conhecido e pouco debatido apenas por astrônomos (CRAWFORD e GENT, 2002). Com o aumento mundial da iluminação noturna, esse tipo de poluição tem-se tornado um dos problemas ambientais de maior crescimento nos últimos anos, uma vez que não afeta apenas a visibilidade do céu noturno para as observações astronômicas, mas também causa impactos ambientais na superfície (em cidades e nos ambientes naturais não urbanos) (VIGO, 2011).

Nos Estados Unidos, em decorrência do aumento de informações dadas aos cidadãos quanto aos efeitos negativos da poluição luminosa, estados e municípios aprovaram mais de 700 leis, conhecidas como “amigáveis”, para a proteção do céu noturno (GENT, 2007) e no Congresso foi proposta uma legislação de controle da poluição causada pela luz (*AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION HOUSE OF DELEGATES*, 2009).

Na Europa, a Itália apresenta grande número de normas regionais para o combate da poluição luminosa, mas os estados da Sicília, Sardenha, Calábria, Molise, Trentino-Alto Adige, Valle d'Aosta e Basilicata ainda não contam com uma lei específica de preservação do céu noturno. Já a República Tcheca foi o primeiro país a adotar uma legislação com dispositivos sobre a prevenção da poluição luminosa – Lei sobre a proteção do ar, de 1º jun. 2002 –, estabelecendo que todas as luminárias nas áreas externas no país fossem protegidas, garantindo que a luz emitida ilumine apenas o chão e não mais o espaço acima da luminária (DAY ONE ..., 2002). Na Espanha, o rei Juan Carlos I, em conformidade com o Acordo de Cooperação em Matéria de Astrofísica de 1979, estabelecido com a Dinamarca, o Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, a Suécia e a Alemanha, sancionou a Lei 31/1998, conhecida como “Lei do Céu”, que visa garantir a proteção da qualidade e a atividade investigativa astronômica realizada nos observatórios do Instituto de Astrofísica de Canárias.

A criação de leis para o controle da iluminação externa vem crescendo, de forma que países como Austrália, Japão, Canadá e Chile já assumiram atitudes semelhantes para o controle desse tipo de poluição.

A poluição luminosa, de acordo com o CONAMA/Chile (1999), compreende toda luz artificial que não é aproveitada para iluminar o chão e as construções, mas que é vista no céu noturno das áreas urbanas. Por ser considerado um termo amplo, pode ser dividida e encontrada em três formas: como brilho no céu (*sky glow*), ofuscamento (*glare*) e luz intrusiva (*light trespass*) (Figura 3).

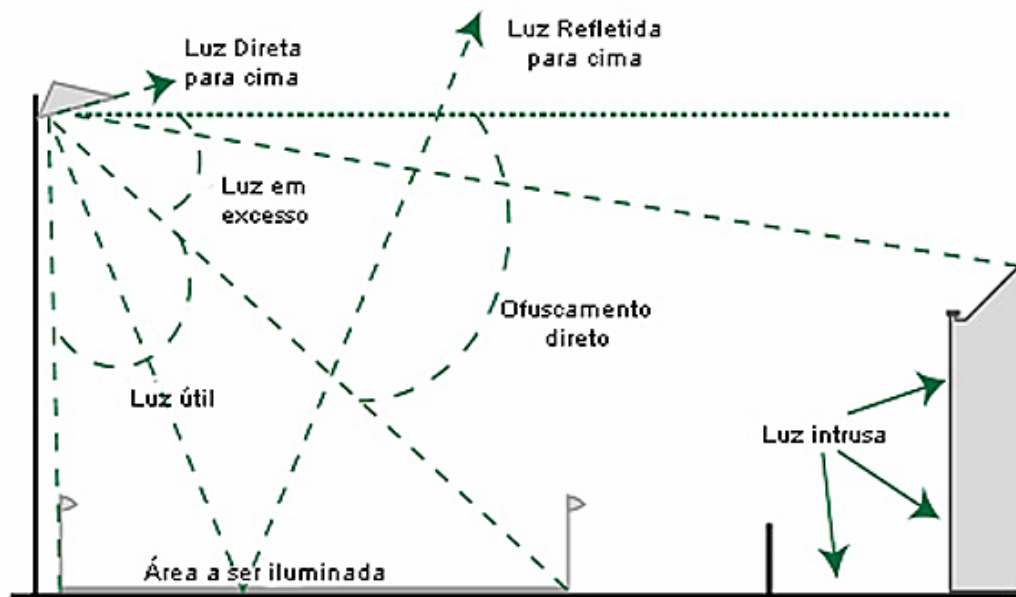


Figura 3 – Ilustração dos tipos de poluição luminosa causados pela propagação das luzes.

Fonte: Adaptado de House of Commons, 2003.

Disponível em: <<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200203/cmselect/cmsctech/747/747.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2012.

O brilho no céu (*sky glow*) tem como causa o excesso de luz artificial emitida por modelos de luminárias que, mal projetadas, direcionam as luzes das lâmpadas para a região superior à luminária, enquanto deveriam iluminar apenas o chão ou os monumentos nas áreas privadas e públicas. A luz direcionada para o céu noturno, em contato com as partículas sólidas (poeira, bactérias, partículas minerais em suspensão dos desertos, produtos industriais) e com os gases presentes na atmosfera, são refratadas e espalhadas (Figura 4).



Figura 4: Brilho no céu noturno da cidade de Goiânia, Goiás.

Fonte: Blog Boletim de Goiás.

Disponível em: <<http://boletimdegoias.blogspot.com.br/2012/05/belezas-de-goias-noite-em-goiania.html>>.

Acesso em: 26 fev. 2013.

O brilho alaranjado, visualizado acima das cidades, é maior nas áreas poluídas e sempre ocorrerá quando a qualidade do ar for ruim. Esse brilho não é localizado, pois pode ser visto a quilômetros de distância, espalhando-se para as áreas rurais (HOUSE OF COMMONS, 2003).

O ofuscamento (*glare*) é provocado por um raio de luz muito intenso, que parece brilhar dentro dos olhos das pessoas, impedindo-as enxergar corretamente a sua volta (Figura 5). Isso causa a chamada “cegueira momentânea”, a qual representa um risco, principalmente para os motoristas que se movem rapidamente de áreas escuras para locais relativamente mais claros.



Figura 5 - Ofuscamento gerado pela quantidade de lâmpadas acesa.

Fonte: Sociedad Astronómica Granadina.

Disponível em: <http://www.astrogranada.org/cieloscuro/img_cl/img_cl_ejemplos/mas_img/lamp4.jpg>. Acesso em: 11 mar. 2012.

Ao desenvolver um projeto de iluminação, as lâmpadas devem ser orientadas para ressaltar a nitidez dos objetos, sem ocasionar a fadiga dos olhos. Assim, a insegurança, o desconforto e a irritação causados às pessoas ao saírem para caminhar durante a noite podem ser provocados pela ausência de iluminação ou o excesso, sendo que este pode levar ao ofuscamento (VANDERLEI; MARTINS; VANDERLEI, 2007).

Por último, a luz intrusiva (*light trespass*), conhecida também como “derrame de luz”, é causada pela luz artificial espalhada para as laterais das luminárias que invadem áreas ou ambientes, iluminando-os sem necessidades e causando desconforto sobre os seres vivos (Figura 6).



Figura 6 – Luz intrusiva provocada por iluminação ineficiente.

Fonte: Sociedad Astronómica Granadina.

Disponível em: < http://www.astrogranada.org/cieloscuro/htm/ejemplos_cl.htm>. Acesso em: 11 mar. 2012.

Essa forma de poluição é provocada pela iluminação dos estacionamentos, monumentos públicos, quadras esportivas, fachadas luminosas de estabelecimentos comerciais, luminárias públicas, dentre outros, que iluminam e invadem o interior das residências pelas janelas e portas, causando desconforto tanto ao ser humano quanto aos animais e à vegetação, ao privá-los da escuridão da noite.

1.4 CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS

A iluminação artificial é usualmente dividida em dois grupos: o das lâmpadas incandescentes, composto pelas lâmpadas de tungstênio tradicionais e de halogênio; e o das descargas elétricas, composto pelas lâmpadas de descargas simples e pelas fluorescentes. Atualmente, o mercado de iluminação conta com uma nova tecnologia denominada de LED (*Light Emitting Diode*), a qual surgiu a partir da mesma técnica empregada na construção dos chips de computadores e promete reduzir o consumo de energia elétrica.

1.5 LÂMPADA INCANDESCENTE

Na primeira lâmpada incandescente, a corrente elétrica passava por um filamento/resistência de carvão que, ao aquecer, ficava em “estado de brasa”, produzindo luz e calor. 90% da energia consumida era transformada em calor e apenas 10%, em luz (SILVA, 2004). Atualmente, o filamento das lâmpadas incandescentes (Figura 7) é feito de tungstênio, que possui elevado ponto de fusão (aproximadamente 3673 K) e baixo ponto de evaporação, o que resulta em maior eficácia na produção de luz (CREDER, 2007). A resistência encontra-se no vácuo ou em um gás inerte, como nitrogênio, argônio e, em algumas lâmpadas especiais, no criptônio (COTRIM, 2003).



Figura 7 – Lâmpada incandescente

Fonte: Philips.

Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd>. Acesso em 28 dez. 2012.

As lâmpadas incandescentes apresentam índice de temperatura de cor⁴ de aproximadamente 2700 K, com tonalidade amarela. A radiação emitida por esse modelo abrange todas as faixas do espectro⁵ visível, que corresponde de 0,40 a 0,70 μm (ALMEIDA, 2004).

⁴ O índice de temperatura de cor corresponde à classificação da cor emitida pelas fontes luminosas, sendo catalogadas de acordo com suas temperaturas em Kelvin (K). A temperatura de cor não tem nada a ver com a temperatura da lâmpada e sim com a tonalidade de cor. Desse modo, quanto maior a temperatura de cor, mais fria e mais branca será a luz, e quanto mais baixa a temperatura de cor, mais quente será e a luz terá uma tonalidade mais amarela e avermelhada (Figura 8).

⁵ Espectro eletromagnético é o conjunto de ondas que contém todas as radiações eletromagnéticas (REM).

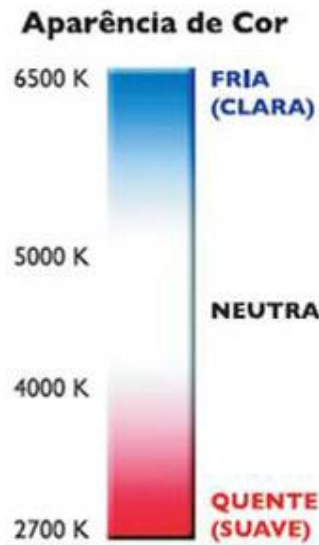


Figura 8 – Variação da tonalidade de cor de lâmpadas

Fonte: Philips.

Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd>. Acesso em 28 dez. 2012.

1.5.1 Lâmpada halógena

As lâmpadas halógenas (Figura 9), chamadas de “incandescentes turbinadas”, apresentam os mesmos princípios de funcionamento das lâmpadas incandescentes e têm como diferença o tubo de quartzo que substituiu o vidro comum das incandescentes. Como a alta temperatura do filamento causa a evaporação de partículas de tungstênio, foi introduzido um gás de halogênio (iodo, flúor e bromo), cuja capacidade é regenerar o tungstênio evaporado, mantendo o filamento sempre na mesma espessura (SILVA, 2004). Essa lâmpada possui excelente índice de reprodução de cor⁶ e iluminação branca e brilhante, com durabilidade superior às incandescentes, embora emita muito calor e possa estilhaçar inesperadamente (CREDER, 2007).

⁶ O índice de reprodução de cor é também chamado de índice de rendimento cromático (IRC) e serve para medir o quanto a luz artificial consegue imitar a luz solar. Quanto mais próximo de 100 for seu IRC, mais próxima da luz natural estará, reproduzindo mais fielmente as cores; quanto menor o IRC, pior será a reprodução de cores. Um IRC em torno de 40 é considerado ruim, 60 razoável, 80 bom e 90 excelente, como pode ser observado na Figura 10.



Figura 9 - Modelos de lâmpadas halógenas

Fonte: Lâmpadas halógenas.

Disponível em: < http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed04/ed_04_Aula.pdf. Acesso em: 10 dez. 2012.

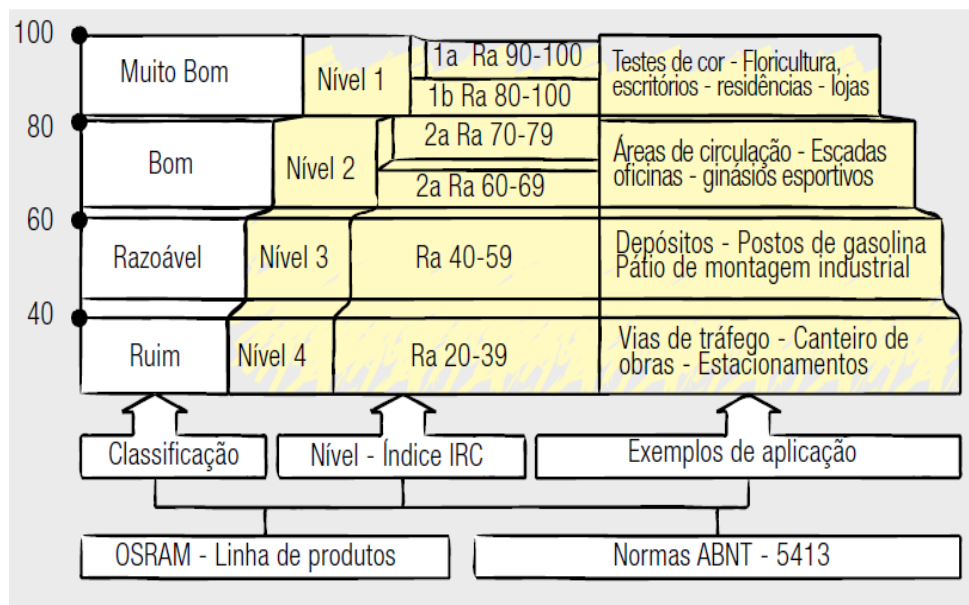


Figura 10 – Índice de reprodução de cores - IRC

Fonte: Manual de Curso de Iluminação, Conceitos e Projetos - OSRAM

Disponível em: < http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_&_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao,_Conceitos_e_Projetos/Manual_Luminotecnico_-_parte_02.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2012.

As lâmpadas halógenas são utilizadas em diversos projetos residenciais, mas principalmente para a iluminação comercial e automotiva; enquanto, as lâmpadas incandescentes são mais utilizadas, principalmente por famílias de baixa renda e também quando há preocupações com a estética dos ambientes (SILVA, 2004).

1.6 LÂMPADAS DE DESCARGA

A luz produzida pela lâmpada de descarga⁷ é resultante da passagem da corrente elétrica em um gás ou vapor ionizado que, excitados pela radiação de descarga, emitem a luz visível (COTRIM, 2003). As lâmpadas de descargas são mais eficientes que as incandescentes por proporcionar mais luz sem aumento de potência, podendo ser classificadas de acordo com o gás utilizado – vapor de sódio ou de mercúrio –, ou conforme a pressão em que se encontra o gás – baixa ou alta. As lâmpadas de descarga simples estão agrupadas em: vapor metálico, de mercúrio e de sódio.

1.6.1 Lâmpada vapor de mercúrio

As lâmpadas vapor de mercúrio possuem o princípio de funcionamento semelhante ao das lâmpadas fluorescentes. As de descarga à baixa pressão, por emitir energia radiante na região do UV-C (0,25 μm), são utilizadas apenas para esterilização, uma vez que seu comprimento de onda tem propriedades bactericidas (BARGHINI, 2010). Na versão de descarga à alta pressão (Figura 11), a vaporização do mercúrio emite raio ultravioleta que, ao atravessar o bulbo pintado por tinta fluorescente, produz a luz visível.

⁷ A descarga é representada na natureza pelo raio e, artificialmente, pelas lâmpadas de descarga, que têm o princípio de funcionamento baseado em uma descarga elétrica que ocorre dentro de um tubo de quartzo, cerâmica ou vidro (SILVA, 2004).



Figura 11 - Lâmpada vapor de mercúrio à alta pressão

Fonte: Star Light.

Disponível em: < <http://www.starlightsp.com.br/vapor-de-mercúrio.php>>. Acesso em: 02 dez. 2012.

1.6.2 Lâmpada vapor de sódio

As lâmpadas de vapor de sódio à baixa pressão (Figura 12) possuem um tubo de descarga com sódio em baixa pressão, o qual evapora a 371 K, e uma combinação de gases inertes (neônio e argônio) para conseguir manter a ignição baixa (CAVALIN, 1998). Elas emitem energia na região do visível, de comprimento de onda 0,58 μm , produzindo uma cor amarelo-torrado (ALMEIDA, 2004). Por apresentar luz quase monocromática, são indicadas para a iluminação de estradas, portos e pátios, onde a reprodução de cor não é considerada importante. Além disso, seu uso é recomendado e incentivado pelos astrônomos para iluminar as vias dos centros urbanos, principalmente dos que estão próximos aos observatórios astronômicos, pois essa luz pode ser praticamente eliminada por meio de um “filtro para poluição luminosa”, acoplado ao telescópio.

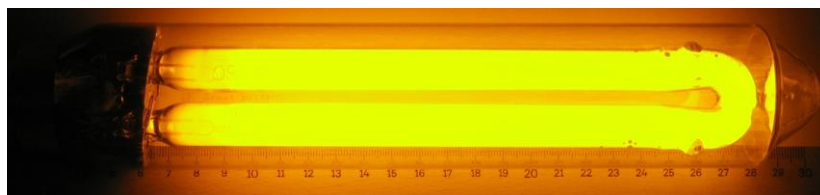


Figura 12 - Lâmpada vapor de sódio à baixa pressão

Fonte: Lâmpada de vapor de sódio.

Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:LPS_Lamp_35W_running.jpg>. Acesso em: 02 dez. 2012.

Nas lâmpadas de sódio à alta pressão (Figura 13), para melhorar o rendimento cromático, são introduzidos gases como mercúrio e xênon que, em baixa pressão, facilitam a ignição e limitam a condução do calor na parede do tubo, feito de óxido de alumínio sintetizado para suportar a alta temperatura produzida pelo vapor de sódio – 973 K (COTRIM, 2003).



Figura 13 - Lâmpada vapor de sódio à alta pressão

Fonte: Nardini elétrica.

Disponível em: <<http://www.nardinieletrica.com.br/detalhesProduto.php?prodId=1484>. Acesso em 02 dez. 2012.

As lâmpadas vapor de sódio à alta pressão, assim como as de baixa pressão, são indicadas para iluminar lugares nos quais não seja fundamental o destaque das cores – ruas, galpões industriais, estacionamentos e áreas externas. Essas lâmpadas apresentam elevada eficiência luminosa, vida longa, fluxo luminoso⁸ de alta intensidade e baixo IRC.

1.6.3 Lâmpada vapor metálico

As lâmpadas de vapor metálico, também conhecidas como de iodeto metálico ou multivapor (Figura 14), possuem o mesmo princípio de funcionamento das lâmpadas de vapor de mercúrio. O interior do tubo de descarga é formado por quartzo e não é preenchido apenas com mercúrio, mas por uma combinação de aditivos de haletos metálicos, como iodeto de índio, tálio e sódio que, ao serem vaporizados, geram uma luz branca, com excelente

⁸ Fluxo luminoso corresponde à quantidade total de luz emitida/produzida por segundo por uma fonte luminosa. É medida em lúmen (lm) (FONSECA, 1974).

reprodução de cores na faixa de 90% e temperatura de cor entre 4.000 e 6.000K (MOREIRA, 1999). São lâmpadas com alta eficiência luminosa e vida longa, indicadas para a iluminação de áreas internas e externas, especialmente campos ou quadras de esportes.



Figura 14 – Modelos de lâmpadas multivapor.

Fonte: Ipalux.

Disponível em: < <http://www.ipalux.com.br/lampada-descarga-multi-vapor-metalico.html>>. Acesso em: 02 dez. 2012.

1.6.4 Lâmpada fluorescente

A lâmpada fluorescente (Figura 15) é uma lâmpada de descarga à baixa pressão, na qual a luz é determinada pela camada de tinta de fósforo pintada na parede interna do bulbo, a qual é ativada pela radiação UV da descarga (COTRIM, 2003; CREDER, 2007). Caso, o bulbo não esteja pintado, ocorrerá apenas emissão da radiação ultravioleta – UV (SILVA, 2004). Por ser considerada fonte de luz econômica, o mercado de iluminação conta com vasto número de modelos com essa tecnologia. Essas lâmpadas apresentam uma reprodução de cores boa (na faixa de 85%) e são mais indicadas para iluminação de interiores, como lojas, indústrias, escritórios e residências (SILVA, 2004).



Figura 15 - Modelos de lâmpadas fluorescentes

Fonte: Ambiental Brasil.

Disponível em: <http://www.ambientalbr.com/AB/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=119>. Acesso em: 12 dez. 2012.

1.7 LIGHT EMITTING DIODE - LED

Descoberta na década de 1920, a tecnologia LED passou a ser empregada somente após a Segunda Guerra Mundial como sinalizador de aparelhos eletrônicos, indicando se estavam ligados ou não. LED, sigla em inglês que significa *light emitting diode* ou diodo emissor de luz (Figura 16), é um componente eletrônico semiconductor, corresponde à mesma tecnologia empregada nos *chips* de computadores e tem a propriedade de converter a corrente elétrica em luz.

No final da década de 1980, foram desenvolvidos os LEDs amarelos, verdes e azuis. Como resultado dos investimentos em pesquisas, na década de 1990 foi possível obter o LED branco, conquistando as indústrias automotivas e de painéis eletrônicos. Na última década (2000 a 2010), ocorreu o aumento no rendimento do LED branco e iniciou-se a conquista do mercado de iluminação (DORREMOCHEA; MARTORELL; SORA, 2011). Considerado uma das revoluções tecnológicas desse mercado, ainda estão sendo realizados estudos para reduzir o custo de produção e torná-lo um sistema viável para substituir o modelo de iluminação utilizada nas áreas pública e privada.



Figura 16 – Modelos de lâmpadas LEDs

Fonte: Led News.

Disponível em: < <http://lednews.com.br/brasil-vai-produzir-lampadas-led/>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

Essa tecnologia, em relação a outros modelos de fontes artificiais, é considerada extremamente econômica e de longa durabilidade (até 100.000 horas). Assim, por apresentarem eficiência energética superior, os LEDs substituirão as lâmpadas fluorescentes, que estão substituindo as lâmpadas incandescentes (CREDER, 2007), uma vez que o consumo de energia para iluminar um ambiente com módulo de LED tendo 1 (um) W de potência é reduzido quando comparado a uma lâmpada incandescente de 40 W ou uma halógena de 20 W (SILVA, 2004).

Os LEDs, inicialmente utilizados em aparelhos eletrônicos, têm, atualmente, o uso mais difundido, embora o seu valor ainda seja elevado em relação às lâmpadas tradicionais; podem ser encontrados em diversos segmentos, como na comunicação visual, na marcação de caminhos em jardins e prédios e na substituição dos sinais de tráfego.

1.8 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO COMPARATIVO DE LÂMPADAS

A luz artificial produzida pelas lâmpadas elétricas apresenta diferentes espectros, como mostra a Figura 17. Nos gráficos, na horizontal, está representado o comprimento de onda e, na vertical, a intensidade da luz produzida pela lâmpada.

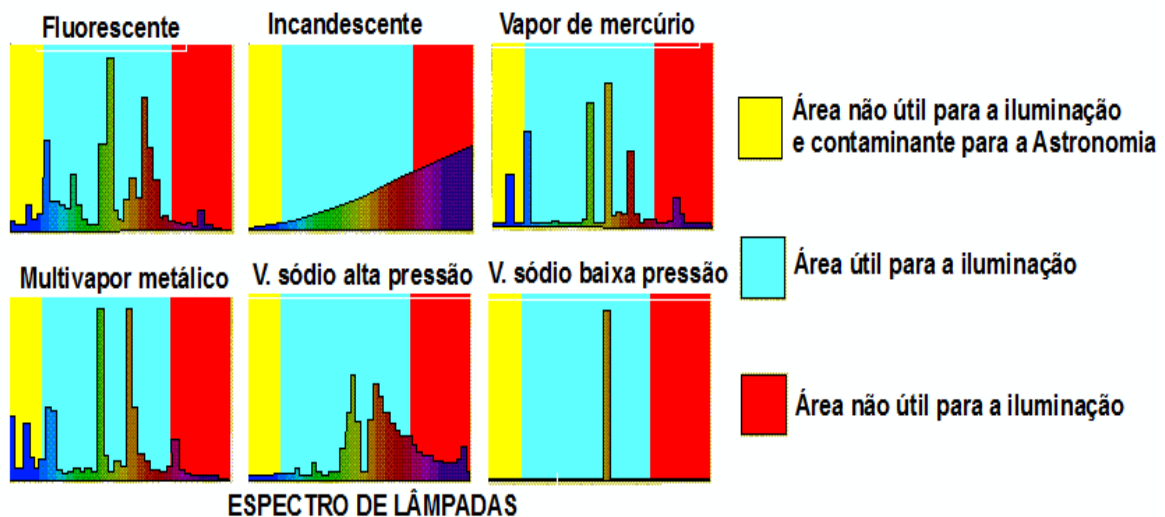


Figura 17 – Espectro comparativo de algumas lâmpadas elétricas

Fonte: Adaptado do Instituto de Astrofísica de Canárias.

Disponível em: <<http://www.iac.es/adjuntos/otpc/lamp.gif>>. Acesso em: 11 dez. 2011.

Dividido em faixas de cores, o amarelo corresponde a zonas que não deveriam ser iluminadas e são contaminadas pela iluminação, como o que ocorre com o céu noturno, tornando difícil observá-lo nas áreas densamente habitadas; o azul corresponde às áreas úteis para a iluminação; e o vermelho destaca a faixa em que não há contaminação pela iluminação, mas que não deveria ser iluminada.

Como observado, cada modelo de lâmpada possui sua própria identidade e produz um espectro único. As informações sobre as radiações ultravioletas (0,10 a 0,40 μm) e infravermelhas (0,78 a 1 μm), localizadas nos extremos do espectro visível, são importantes nos estudos de produção da luz artificial, pois essas radiações estão presentes nas lâmpadas e podem provocar queimaduras nos seres humanos e o desbotamento das cores nos tecidos e nas superfícies (SILVA, 2004).

As lâmpadas incandescentes emitem radiação em toda a faixa do espectro visível e, se atingirem uma temperatura de cor acima de 2.700 K, emitem radiação UV. As lâmpadas de vapor de mercúrio, de halógeno e as fluorescentes emitem radiação UV em consequência dos elementos que estão presentes em sua estrutura e composição.

Ao comparar os espectros das lâmpadas acima (Figura 17) com o da lâmpada LED (Figura 18), observa-se que a luz produzida pelo LED emite valor máximo de radiação no comprimento de 0,46 a 0,47 μm , correspondendo à faixa azul do espectro que mais se difunde na atmosfera (DORREMOCHEA; MARTORELL; SORA, 2011).



Figura 18 - Espectro da lâmpada de LED

Disponível em: <<http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

As lâmpadas vapor de sódio à alta pressão produzem parcialmente todas as cores do espectro visível, enquanto as lâmpadas vapor de sódio à baixa pressão apresentam uma luz quase monocromática, indicada para iluminação das áreas externas e próximas a observatórios astronômicos por produzirem uma luz amarelada, mais facilmente eliminada por filtros que suprimem a “radiação” produzida pelo sódio. Elas também são consideradas menos agressivas ao meio ambiente.

A evolução das lâmpadas possibilitou a diversificação de modelos e seu emprego, tanto em locais abertos como fechados, tornou possível a ocupação dos espaços pelo homem. Porém, apesar de ter sido inventada para atender às necessidades humanas, a iluminação artificial vem se transformando em um problema ambiental devido às inúmeras consequências causadas à sociedade atual, aspecto que será discutido no próximo capítulo.

CAPÍTULO 2 – AS CONSEQUÊNCIAS DA POLUIÇÃO LUMINOSA

Este capítulo tem como foco refletir sobre como as características dos modelos de iluminação contribuem para diferentes impactos ambientais, causados pela poluição luminosa e que afetam a vida dos seres vivos.

2.1 MODELOS DE ILUMINAÇÃO

O excesso de luminosidade das vias urbanas contribui para a expansão da poluição luminosa, que tem como causa o desperdício energético favorecido por modelos de luminárias mal projetadas que direcionam o foco de luz para todas as direções, não necessariamente apenas, para o chão das ruas. Na Figura 19, há quatro exemplos de modelos de luminárias – dois eficientes e dois ineficientes, que disseminam a luz acima da linha do horizonte.

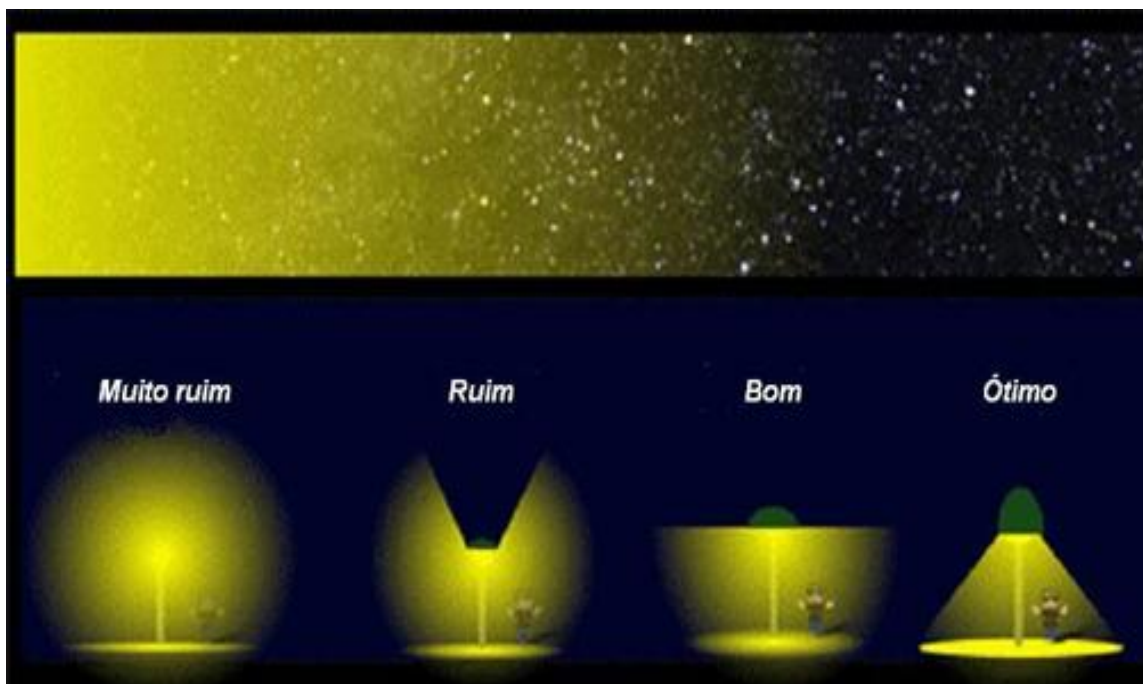


Figura 19 – Tipos de distribuição luminosa de luminárias

Fonte: Adaptado de Canadian Space Agency

Disponível em: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/educators/resources/stars/light.asp>. Acesso em 28 dez. 2011.

Nas classificações presentes na figura, observa-se que, as luminárias classificadas como “muito ruim” são aquelas de tipo esféricas (globo), utilizadas em áreas verdes e nas ruas de centros históricos. Esse modelo é um exemplo de ineficácia e prejuízo, pois ilumina para cima e para os lados, menos o chão. Naquelas classificadas como “ruim”, embora exista um anteparo impedindo a luz de ser direcionada ao céu, ainda há desperdício de energia,

iluminação insuficiente e invasão da luz nas casas, podendo causar, nos moradores, dificuldades e transtornos para dormir. Nas luminárias classificadas como “bom”, além de apresentar melhor aproveitamento da luz para iluminação pública, sendo possível identificar as estrelas no céu. Na classificação “ótima”, tem-se um modelo de luminária eficiente, em que a luz é direcionada para baixo e pouco para as laterais, iluminando apenas onde é necessário, o chão das ruas.

O setor público, responsável por zelar pela segurança pública, trabalha com dois tipos de conceitos ou modelos de luminárias, como pode se observar na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Características das luminárias públicas conforme conceito

Conceito obsoleto	Conceito eficiente
Luminária fechada, corpo-refletor com equipamento incorporado ou aberta com equipamento externo.	Refletor em alumínio de alta pureza e equipamento auxiliar incorporado.
Padronização de acordo com dimensões.	Padronização de acordo com a segurança, eficiência e durabilidade.
Rendimento luminotécnico entre 40% e 55%.	Rendimento luminotécnico médio, entre 75% e 80%.
Vidro boro-silicato causando dispersão da luz gerando PL.	Vidro plano/curvo/poli curvo temperado ou policarbonato antivandalismo.
Rápida depreciação.	
	Distribuição fotométrica eficiente.
	Vedação (grau de proteção IP 65 ou superior).
	Resistência mecânica.
	Resistência à intempérie.
	Resistência elétrica.
Luminária aberta sem proteção.	Luminária fechada, corpo em liga de alumínio.
Em desacordo com as normas atuais.	Conformidade com ABNT NBR IEC 60598 e ABNT NBR 15129. Em processo de revisão.

Fonte: Capítulo III Componentes da iluminação pública.

Disponível em: <http://www.osetoelettrico.com.br/.../ed38_desenvolvimento_da_iluminacao_publica_no_brasil.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2010.

Adaptado: Maria Cristina Azevedo.

O modelo do conceito obsoleto, o mais comum, encontrado na maior parte das vias urbanas, apresenta baixo rendimento luminoso e baixa durabilidade; é fabricado sem seguir normas; as luminárias são abertas e sem proteção, facilitando a dispersão da luz para o céu noturno e provocando a poluição luminosa. Esses modelos (Figura 20) são encontrados em todas as cidades, tanto em vias rápidas como nas de menor circulação, em áreas residenciais.



Figura 20 - Modelos de luminárias obsoletas.

Fonte: Instituto de Astrofísica de Canárias

Disponível em: <http://www.iac.es/adjuntos/otpc/lumi_con.jpg>. Acesso em 21 dez. 2011.

No modelo do conceito eficiente, as luminárias possuem compartimento para equipamento auxiliar, alto rendimento e durabilidade e são fabricadas de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Esse modelo de luminária (Figura 21) evita o desperdício energético, além de contribuir para diminuir a poluição luminosa nas áreas urbanas.



Figura 21 - Modelos de luminárias eficientes

Fonte: Instituto de Astrofísica de Canárias

Disponível em: <http://www.iac.es/adjuntos/otpc/lumi_noconta.jpg>. Acesso em 21 dez. 2011.

No Brasil, existem algumas regulamentações da ABNT para a produção dos produtos de iluminação pública, mas a cobrança quanto ao uso das normas é baixo, sendo possível encontrar, no comércio, luminárias fabricadas sem cumprirem as determinações estabelecidas pelas normas técnicas, como aquelas importadas da China ou do Paraguai e que atraem os consumidores por seus baixos valores.

Rosito (2009) destaca que o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) não atesta todos os produtos de iluminação pública, tornando-se omissos ao deixá-los em circulação, pois não apresentam garantias aos consumidores. Observa-se que a atenção deles só é despertada quando programas jornalísticos realizam testes e constata a existência de produtos de baixa qualidade e chamam a atenção para a necessidade de certificação.

2.2 IMPACTOS DA POLUIÇÃO LUMINOSA

Em consequência da adoção de luminárias pouco eficientes, a poluição luminosa é geradora de impactos ambientais, alterando propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente e ocasionando danos em escala local, regional e global, com impactos sociais, ecológicos e econômicos, como será apresentado nesta seção.

2.2.1 Impacto social

A produção da lâmpada elétrica impulsionou o desenvolvimento da iluminação nas cidades; como efeito imediato, as horas que eram reservadas para descanso foram ao longo do tempo diminuindo, sendo ocupadas pelas novas oportunidades e possibilidades que surgiam com a melhoria da iluminação artificial, que tornou as noites menos escuras. O ritmo de vida das pessoas foi se modificando, assim como seus hábitos de trabalho e relacionamento, reduzindo também, as horas de sono, por exemplo.

Pérez e Lama (2010) colocam que a exposição prolongada e ininterrupta à luz durante a noite pode trazer consequências negativas para os seres vivos, devido à alteração da função do relógio biológico⁹ e da produção da melatonina¹⁰. Pesquisas indicam que a redução da produção de melatonina noturna pode aumentar o risco de doenças malignas relacionadas com o desenvolvimento de estrogênio¹¹, como o câncer de mama (RALOFF, 1998). Sobre essa doença, Blask et al (2005) apontam que o risco de desenvolvimento do câncer de mama nas mulheres em países industrializados é cinco vezes maior que nos países em desenvolvimento, devido à maior exposição à luz artificial durante as noites.

Jasser, Blask e Brainard (2006) consideram que este tipo de câncer tem aumentado principalmente nas mulheres que trabalham no período noturno por ficarem muito expostas à luz artificial para realizarem suas atividades, provocando a supressão da produção de melatonina pela glândula pineal, produzida somente no escuro. Em estudo realizado com o

⁹ Presente em todos os seres vivos, o relógio biológico é conduzido pela sequência das horas do dia, regulando todas as atividades do organismo, como a temperatura corporal e a liberação de hormônios ou de enzimas digestivas (TOSINI et al., 2008).

¹⁰ Produzida pela glândula endócrina-pineal ou epífise neural, a melatonina é uma substância presente em todos os seres vivos. Sintetizada e liberada apenas durante o período de escuro, independente da espécie ter hábito diurno ou noturno, a presença de luz pode exercer um efeito inibidor sobre a produção e liberação da melatonina (CIPOLLA-NETTO; AFECHE, 1992).

¹¹ Termo usado para o grupo de hormônios esteróides com 18 carbonos, que são secretados principalmente pelo ovário e, em menor quantidade, pelas adrenais. O estrógeno ou estrogênio é hormônio responsável pelo controle da ovulação e pelo desenvolvimento de características femininas (KENDALL; ESTON, 2002).

sangue de voluntários do sexo feminino, saudáveis e na pré-menopausa, injetado em ratos com tumores de câncer de mama humano, Blask et al (2005) observaram que o tumor nos ratos que receberam sangue com maior concentração de melatonina reduziu o crescimento, enquanto o mesmo não aconteceu com os ratos que receberam o sangue coletado após a exposição à luz artificial, pobre em melatonina.

Mesmo com esse resultado, os pesquisadores não podem afirmar que a iluminação noturna seja a responsável pelo aumento do número de casos de câncer, pois existem outros fatores, tais como: o histórico familiar, a obesidade, etc.; mas constataram que a supressão da melatonina pela exposição à iluminação artificial é um novo fator de risco para a saúde das pessoas.

Como não é possível para a atual sociedade viver sem os benefícios que foram conquistados ao longo dos anos com o desenvolvimento da tecnologia da iluminação, é preciso reconhecer e conscientizar-se dos males que podem ser provocados por ela.

Segundo Dorremochea (2011), as doenças estimuladas pela luz artificial não são causadas apenas por os indivíduos ficarem constantemente expostos a uma iluminação ambiente, mas também à luz intrusiva que invade os lares e causa insônia, irritabilidade, estresse e contribui para a redução da defesa natural do organismo contra o surgimento de tumores malignos e de enfermidades degenerativas. Por outro lado, uma das justificativas para o uso excessivo de iluminação em áreas públicas é a sensação de que o medo das pessoas reduz por acreditarem que, havendo melhor visibilidade, crimes não ocorrerão, pois as chances de identificação e captura dos criminosos são maiores (CRAWFORD; GENT, 2002; ATKINS; HUSAIN; STOREY, 1991).

Sobre isso, porém, há controvérsias. Segundo Elliott e Evans (2010), as imagens de câmeras de segurança instaladas nas ruas de Newhaven, nos Estados Unidos, apresentaram uma imagem tão distorcida em virtude da excessiva iluminação que não foi possível identificar as pessoas que cometeram atos ilícitos, ou seja, o excesso de luz comprometeu a qualidade do rendimento das câmeras instaladas, favorecendo a prática de atos criminosos. Em relatório produzido pelo Departamento de Justiça dos Estados Unidos, destinado ao Congresso, concluiu-se que há pouca certeza de que a iluminação excessiva possa prevenir crimes (CRAWFORD; GENT, 2002).

Outra pesquisa foi realizada no bairro de Wandsworth, em Londres, com o objetivo de verificar se, em longo prazo, o aumento da iluminação contribuía diretamente para a redução de crimes na área. Assim, durante três anos a partir de 1985, o bairro recebeu 3.500 novos postes de luz. Atkins, Husain e Storey (1991) não encontraram evidências de que a

iluminação melhorada em um grande bairro, em longo prazo, possa contribuir para a redução da criminalidade. O que se, por meio de outras pesquisas, é que a redução de crimes acontece em pequenas localidades e apenas em curto prazo.

O que se percebe é que o modelo de iluminação dos ambientes privados e públicos é planejado para proporcionar a sensação de segurança, mas provoca fadiga visual, conhecida como ofuscamento, o que leva à cegueira momentânea dos pilotos de avião e de condutores de veículos, podendo ocasionar acidentes graves.

2.2.2 Impacto ecológico

Os animais deveriam se orientar apenas pela luz da Lua refletida no céu, mas, devido ao contraste que é provocado pelo intenso brilho da iluminação artificial, muitos deles são atraídos para as áreas habitadas. O poder de atração que a iluminação noturna exerce sobre os insetos, por exemplo, pode ocorrer a grandes distâncias e essa aproximação acontece em conformidade com a capacidade de controle de voo que cada espécie possui (BARGHINI, 2010; IDA, 2010). Os lepidópteros¹² e os coleópteros¹³ possuem pequena capacidade de controle de voo, assim, quando atraídos por uma fonte de luz, a iluminação perturba sua orientação, e, impossibilitados de enxergar, ficam batendo contra a lâmpada ou pousam próximos a ela. Os culicídeos¹⁴, ao contrário, têm maior capacidade de controle de voo e ficam voando ao redor da lâmpada; o deslocamento em direção à luz ocorre apenas quando realmente existe necessidade.

Esse fenômeno foi confirmado por Barghini, em pesquisas realizadas na área rural do município de Cordeirópolis – SP e no Parque Ecológico do Tietê, município de São Paulo:

Na primeira localidade, uma região com baixa concentração de insetos, a maior parte dos culicídeos capturados era fêmea, enquanto que na segunda localidade, com alta densidade de insetos, a proporção de machos e fêmeas era quase a mesma. O fenômeno fica claro quando se considerar que os machos dos culicídeos registram uma mobilidade muito menor que as fêmeas elas, na maturidade sexual, precisam de sangue para a formação dos ovos, e se deslocam amplamente até encontrar fonte de alimento. (BARGHINI, 2010, p.113-114)

¹² Considerada a segunda maior dentre os insetos em números de espécies, a ordem lepidóptera inclui as borboletas e mariposas (GRIMALDI; ENGEL, 2006).

¹³ Coleóptera corresponde à maior ordem de insetos e compreende os insetos conhecidos como besouros, joaninhas e os vagalumes.

¹⁴ São insetos pertencentes à ordem Diptera, conhecidos como mosquitos, pernilongos, muriçocas ou carapañas. As fêmeas, na maioria das espécies, são hematófagas e servem como vetores na transmissão de doenças.

É válido ressaltar que, apesar de os insetos serem vistos como um incômodo pelos humanos, eles têm um importante papel para o equilíbrio ecológico, o aumento ou a redução de uma das espécies pode provocar um desequilíbrio na cadeia alimentar.

Atualmente, o governo federal patrocina a expansão da eletrificação no Brasil por meio de dois grandes programas de iluminação noturna, sendo que um é destinado para os centros urbanos e o outro para as áreas rurais. Focando a área urbana, tem-se o Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente – Reluz^{15,16}, o qual prevê investimentos de R\$ 2 bilhões por parte da ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S/A) para tornar eficientes cinco milhões de pontos de iluminação pública e instalar mais de um milhão de novos pontos de iluminação. Lançado em 2000, com ações vigentes até o ano de 2002, foi estendido até o ano de 2010. No período de 2002 a 2010, em consequência das mudanças que ocorreram no programa, passou a ser denominado Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel Reluz, estendendo a vigência até 2035.

O outro programa, LUZ PARA TODOS¹⁷, lançado em 2003 e com foco a área rural, tinha a meta de levar acesso à energia elétrica gratuita para mais de 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008, tendo sido prorrogado até 2011. Como as informações do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 2010, apontavam a existência de mais pessoas sem acesso à luz elétrica, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e nas áreas de extrema pobreza, o programa foi prorrogado até 2014. A meta inicial só foi atingida em 2009; em março de 2012, ele já havia beneficiado cerca de 14,4 milhões de moradores rurais.

Esses programas, porém, podem representar uma ameaça ao ambiente se não forem usadas luminárias e lâmpadas que contribuam para diminuir a poluição luminosa. De acordo com Barghini, Urbinatti e Natal (2004, p.613), a modernização do sistema de iluminação torna-se preocupante porque a

iluminação artificial pode significar risco, principalmente em áreas de baixa concentração humana, pois nas localidades menores e sujeitas ao isolamento, o aumento da densidade de vetores atraídos pelos novos sistemas de iluminação, dificilmente receberá a atenção devida por parte dos serviços de controle. Como exemplo, essa realidade poderá complicar a transmissão da malária na região amazônica.

¹⁵ Eletrobrás. Disponível em: <http://www.eletrabras.com/EM_Programas_Reluz/default.asp>. Acesso em: 10 jun. 2012.

¹⁶ Eletrobrás. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/main.asp?TeamID={E4B36D24-00F0-4534-8F61-06F1051363F3}>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

¹⁷ Programa Luz para Todos. Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp>. Acesso em: 10 jun. 2012.

A expansão da energia elétrica é necessária para atender a todos que moram distantes das cidades, mas é preciso que se invista em meios para minimizar os impactos causados pela luz artificial sobre o ambiente, uma vez que a introdução da energia elétrica nas áreas rurais contribui com o aumento do número de insetos no ambiente antrópico, além de provocar mudanças no estilo de vida das pessoas e no comportamento dos insetos, por considerar que há a quebra dos ritmos circadianos¹⁸ (BARGHINI, 2010; BARGHINI; MEDEIROS, 2006).

Barghini e Medeiros (2006) apontam doenças infecciosas transmitidas por vetores, como a doença de Chagas, a leishmaniose e a malária, que, em consequência dos programas de eletrificação, tiveram o número de casos diagnosticados aumentado. Outra constatação é de casos esporádicos, registrados em diversas localidades da Amazônia, chamando a atenção como as pessoas estão adquirindo o mal de Chagas.

Em alguns casos, já assinalados no passado (Barretto et al 1978, Schofeild 2000) e confirmados recentemente, a transmissão se verificou provavelmente pela ingestão do próprio vetor esmagado, ou das fezes do mesmo, encontrados em alimentos como o fruto do açaí (*Euterpe oleracea*) e a cana de açúcar, triturados para produção do suco, conforme relatado por Geraque (2005). Ao lado desse meio de transmissão, está sendo assinalado sempre com maior frequência um meio de transmissão diferente, no qual o vetor não é encontrado no domicílio, mas apenas na região peridomiciliar. Aparentemente, o vetor seria atraído, quando inexistem outros animais de sangue quente para parasitar, pela iluminação artificial até o domicílio, onde parasitaria os seres humanos (BARGHINI, 2010, p. 119)

Um exemplo que confirma essa nova forma de transmissão da doença são os 12 casos confirmados pela Secretaria de Saúde do Estado de Santa Catarina, na região sul, em 2005, amplamente divulgado pela imprensa nacional. Depois de ser feita uma extensa investigação sobre o caso, os técnicos constataram que todos haviam ingerido caldo de cana em uma mesma venda situada na rodovia, concluíram que, “os insetos – infectados pelo *T. cruzi* – adentraram no local (comércio) atraídos pela luz, caíram na máquina, foram triturados e contaminaram a bebida com o parasita, transmitindo o *T. cruzi* para todos que consumiram daquele caldo” (DIRETORIA DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA, s.d., p. 3).

Esse caso ocorrido em Santa Catarina demonstra como a iluminação noturna pode contribuir para a dispersão de doenças causadas por insetos e a necessidade de proteger o ambiente da radiação emitida pelas lâmpadas.

As aves, assim como os insetos, também são atraídas pela iluminação noturna para as áreas urbanas. Charro (2001) aponta que as luzes lançadas para o céu provocam a perda de

¹⁸ Ritmos cicardianos ou ciclo cicardiano representa o período de 24 horas, no qual se baseia todo o ciclo biológico dos seres vivos, como de sono, atividade digestiva, produção de hormônios, regulação térmica e de outros processos que se repetem diária e aproximadamente nos mesmos horários (FLORENTINO, 2008).

orientação nas aves durante o movimento migratório, sendo também responsável pela grande mortalidade de pássaros que atingem obstáculos devido ao brilho no céu. Nas cidades, as luzes dos holofotes atraem as aves em migração, que morrem ao colidir com as torres de rádio, arranha-céus ou monumentos que permanecem iluminados durante toda a noite. Nas plataformas de petróleo marítimas, as aves são “capturadas” pela luz produzida pela tocha de gás e ficam circulando em torno dela até caírem mortas de exaustão no mar.

O prolongamento do dia em consequência da iluminação também pode induzir a alterações hormonais, fisiológicas e comportamentais, iniciando a procriação mais cedo (HOUSE OF COMMONS, 2003). Barghini (2010) ressalta que as alterações de comportamento das aves são mais acentuadas nas regiões de clima temperado do que nas zonas tropicais. Em decorrência da aceleração do acasalamento das aves urbanas, os ovos correm o risco de eclodirem antes da primavera.

Em relação à flora, alguns efeitos causados pela iluminação artificial já são conhecidos pela indústria, que desenvolveu lâmpadas especiais com a função de acelerar o crescimento ou de alterar a fotomorfogênese¹⁹, enquanto as lâmpadas que são usadas na iluminação pública não favorecem o crescimento fotossintético (BARGHINI, 2010). Os principais efeitos são que as 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 fotoperíodo²⁰ necessário para o florescimento (HOUSE OF COMMONS, 2003).

A redução dos insetos que realizam a polinização de determinadas plantas pode afetar a produção de determinados cultivos. A fotossíntese induzida pela luz artificial causa o crescimento anormal e provoca uma defasagem nos períodos de floração e descanso da planta (CHARRO, 2001). Sobre as implicações da iluminação pública sobre a vegetação, Barghini (2010) relatou o efeito de dois tipos de lâmpadas na florada das paineiras, plantadas na Avenida Queiroz Filho, Lapa, São Paulo, concluindo que as árvores próximas aos postes com lâmpadas vapor de mercúrio estavam sem flores, pois a florada estava atrasada devido à radiação ultravioleta ter inibido a fixação fotossintética. Enquanto isso, nas árvores próximas aos postes com lâmpadas de vapor de sódio à alta pressão havia flores, por possuírem uma forte concentração da radiação do vermelho e do infravermelho. Devido a isso,

¹⁹ Corresponde ao efeito da luz sobre o desenvolvimento estrutural ou morfogênese da planta, efeitos estes que controlam a aparência.

²⁰ Fotoperiodismo está relacionado às mudanças sazonais que ocorrem nos organismos devido à alteração nos comprimentos do dia e da noite (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996).

[...] induziram a produção das giberelinas, hormônios que, entre outras propriedades, favorecem a indução da floração no meristema. É também possível que a iluminação noturna tenha favorecido a abertura dos estômatos por mais tempo, ocasionando maior perda de água (BARGHINI, 2010, p. 144).

Sobre os animais marinhos, em especial as tartarugas marinhas, assim como os insetos, observou-se que eles são atraídos pela iluminação noturna das cidades. São animais sensíveis à radiação UV-A (0,32 a 0,40 μm) emitida praticamente por todas as lâmpadas utilizadas para iluminar os ambientes, mas em especial pelos modelos vapor de mercúrio, vapores metálicos e a de halogênios, que apresentam alto índice de ultravioleta (BARGHINI; MEDEIROS, 2006).

A iluminação noturna leva à desorientação de animais que precisam de um ambiente escuro para locomover-se, como as tartarugas marinhas fêmeas (Figura 22) que procuram por praias mais escuras para desovar, mas que, em consequência da fotopoluição²¹ (Figura 23), tornaram-se muito claras durante a noite.



Figura 22 – Tartaruga marinha.

Fonte: Projeto Tamar.

Disponível em: <<http://www.tamar.org.br/interna.php?cod=106>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

²¹ Tema da campanha Condomínio Legal, do projeto Tamar, realizado nas praias de Guarajuba, Itacimirim e Barra de Jacuípe, no litoral norte da Bahia, durante o verão de 2010. A campanha visava monitorar a iluminação da orla e de áreas próximas às praias para evitar que as tartarugas marinhas ficassem desorientadas para desovar e, ao retornarem ao mar, não fossem atraídas pela luz artificial vinda da cidade.



Figura 23 – A Iluminação ineficiente na orla das praias pode comprometer a orientação dos animais marinhos. Fonte: Projeto Tamar. Disponível em:< <http://tamar.tempsite.ws/noticia1.php?cod=106>>. Acesso em: 28 jun. 2012.

As fêmeas e os filhotes, ao deixarem os ninhos, ficam desorientados com a iluminação noturna da orla e das edificações próximas e, ao invés de irem para o mar, conduzidos pela luz da Lua no horizonte (por exemplo), eles caminham em direção ao continente. Os filhotes inevitavelmente são devorados por cães e raposas, dentre outros predadores, ou morrem atropelados ou de desidratação (PROJETO TAMAR, s.d.).

Para evitar a morte desses animais, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – baixou a portaria nº 11, de 30 de janeiro de 1995, restringindo a iluminação nas praias de nidificação das tartarugas marinhas e determinando a proibição de qualquer fonte de iluminação com intensidade superior à zero lux, numa faixa de praia da maré mais baixa até 50 cm acima da linha da maré mais alta do ano, em todas as praias em que ocorre a desova, desde o litoral do Estado do Rio de Janeiro até o do Rio Grande do Norte.

A troca da iluminação nessas áreas determinadas pela portaria não prejudicou a visibilidade para os moradores e turistas, mas levou a “escuridão” para salvar a vida das tartarugas marinhas (Figura 24).



Figura 24 - Iluminação do Hotel Vila Galé na praia de Guarajuba em Camaçari, Bahia.

Projetada para iluminar apenas as áreas transitáveis e necessárias do hotel, como pode ser observada na figura (a) quando a iluminação é ligada no início da noite por volta das 18h, (b) por volta das 19h e em (c) por volta das 22h. A iluminação das dependências do hotel, dessa forma, reduz o efeito da luz artificial sobre possíveis tartarugas marinhas que escolham a praia ao fundo do hotel para desovar.

Fonte: Diretrizes para elaboração de projetos luminotécnicos em áreas de desova de tartarugas marinhas.

Disponível em: < http://tamar30anos.org.br/arquivos/cartilha_fotopoluicao.pdf >. Acesso em: 10 jun. 2012.

2.2.3 Impacto econômico

As luzes artificiais emitidas para o céu das cidades, resultantes de projetos ruins de luminárias, como foram apresentados anteriormente, além de causar diversas consequências ao ambiente, são uma forma de poluição economicamente cara aos Estados, uma vez que gera um desperdício energético.

A iluminação noturna é tão comum e “necessária” que as pessoas não questionam e não percebem o desperdício provocado pelas luzes dos estacionamentos de *shoppings centers*, prédios comerciais, *outdoors*, letreiros luminosos, jardins residenciais, monumentos públicos, quadras esportivas, entre outros, que ficam acesos durante toda a noite, sem necessidade, comprometendo não apenas a observação astronômica, mas também a qualidade da escuridão durante este período.

Walker (1970) demonstrou que a luz que vem de grandes cidades pode poluir o céu mesmo a grande distância. Para ter-se uma ideia, muitas cidades produzem brilho no céu noturno que pode ser visto a, aproximadamente, 200 km (IDA, 2010). A iluminação noturna é um grande consumidor de energia elétrica, cujos gastos têm impacto direto sobre os cofres dos governos.

Na Espanha, o Ministério da Indústria divulgou que os gastos com a iluminação pública, em 2007, representaram aproximadamente 5,2 terawatts/hora (TWh) ou cerca de 450 milhões de euros. Os gastos anuais estão crescendo mais rápido que a população, tendo dobrado desde 1990 (DORREMOCHES, 2011). Miguel e Zamorano (2011) destacam que esses valores são devido à utilização de lâmpadas potentes na iluminação pública, sendo que, na Espanha, a potência é de 160 W e a média europeia está entre 111 W. Por exemplo, na Alemanha, é de 70 W e, na Holanda, aproximadamente 60 W.

Nos Estados Unidos, cerca de 6% dos 4.054 milhões de megawatts/ hora (MWh) de eletricidade produzida são usados para a iluminação exterior e aproximadamente 30% dessa energia é desperdiçada na forma de poluição luminosa, o que corresponde a um custo desnecessário de quase 7 bilhões de dólares por ano (GALLAWAY; OLSEN; MITCHELL, 2009). Pimenta e Carvalho (2006) assinalam que o desperdício energético mundial foi estimado em mais de 1/3 de toda a iluminação artificial, de forma que os consumidores pagam um preço muito alto pela perda de luz mal direcionada, causada, em parte, pelos modelos de luminárias ainda empregados nas cidades.

Esses modelos, principalmente os que estão nas vias públicas, deveriam direcionar a luz emitida pelas lâmpadas apenas para a superfície, todavia, permitem que parte dessa luz estenda-se para as laterais e para a região superior das luminárias (SILVA, 2006), colaborando para que se registre, a partir do espaço, a apropriação do ser humano do espaço terrestre. Isso é comprovado por fotografias tiradas pelos espaçonautas a bordo da Estação Espacial Internacional (EEI), a qual viaja em torno da Terra em altitudes entre 350 e 400 km. Eles fotografam as cidades e regiões mais importantes do planeta e conseguem distinguir os países apenas pelas cores das luzes ou pelo desenho geométrico das cidades, como mostrado na sequência a seguir.

Na Figura 25, por exemplo, é possível perceber o formato arquitetônico de Brasília, que possui a forma de um avião, bem como de algumas cidades satélites ao seu entorno, como Ceilândia, e o contorno do lago Paranoá.

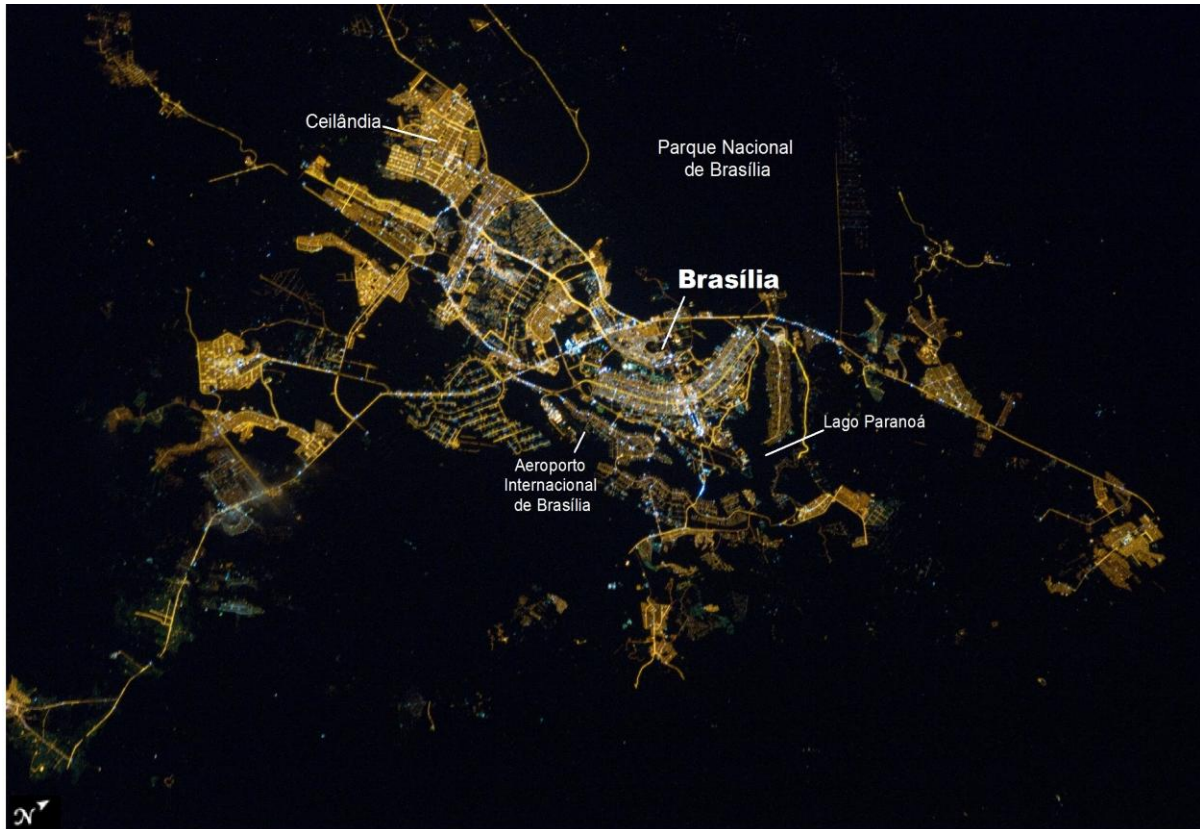


Figura 25 - Foto noturna do Distrito Federal, Brasil, 2010.

Fonte: Earth Observatory - NASA

Disponível em: <<http://eol.jsc.nasa.gov/debrief/>>. Acesso em 10 jan. 2012.

A iluminação na região central de Tóquio (Figura 26) é mais clara e as luzes irradiam-se ao longo das ruas e estradas de ferro. A cor azul-esverdeada corresponde às lâmpadas vapor de mercúrio que são mais utilizadas na iluminação pública, em oposição à iluminação com as lâmpadas vapor de sódio (cor amarela), como pode ser visto em alguns pontos na imagem.



Figura 26 - Foto noturna da cidade de Tóquio, Japão, 2008.

Fonte: Earth Observatory - NASA

Disponível em: <http://eol.jsc.nasa.gov/EarthObservatory/Tokyo_at_Night.htm>. Acesso em 10 jan. 2013.

A cidade de Dubai (Figura 27), localizada na costa sul do Golfo Pérsico, na Península Arábica, é a cidade mais populosa dos Emirados Árabes Unidos e é conhecida mundialmente por seu alto desenvolvimento arquitetônico. Na fotografia, é possível localizar *Palm Jumeirah*, uma península artificial, destinada ao turismo de luxo, com ilhas construídas ao seu redor e que, vista do alto, apresenta a forma de uma palmeira.



Figura 27 - Foto noturna da cidade de Dubai, Emirados Árabes Unidos, 2009.

Fonte: Earth Observatory - NASA

Disponível em: <http://eol.jsc.nasa.gov/EarthObservatory/City_of_Dubai_at_Night.htm>. Acesso em: 10 jan. 2013.

Por último, na Figura 28, a imagem da maior área metropolitana da Itália – Milão –, que apresenta uma iluminação com a forma de uma colcha de retalhos. A densa iluminação de luzes brancas indica o centro histórico; ao sul (esquerda da imagem), há uma região agrícola; e, ao norte, muitas pequenas cidades são intercaladas com os campos agrícolas.

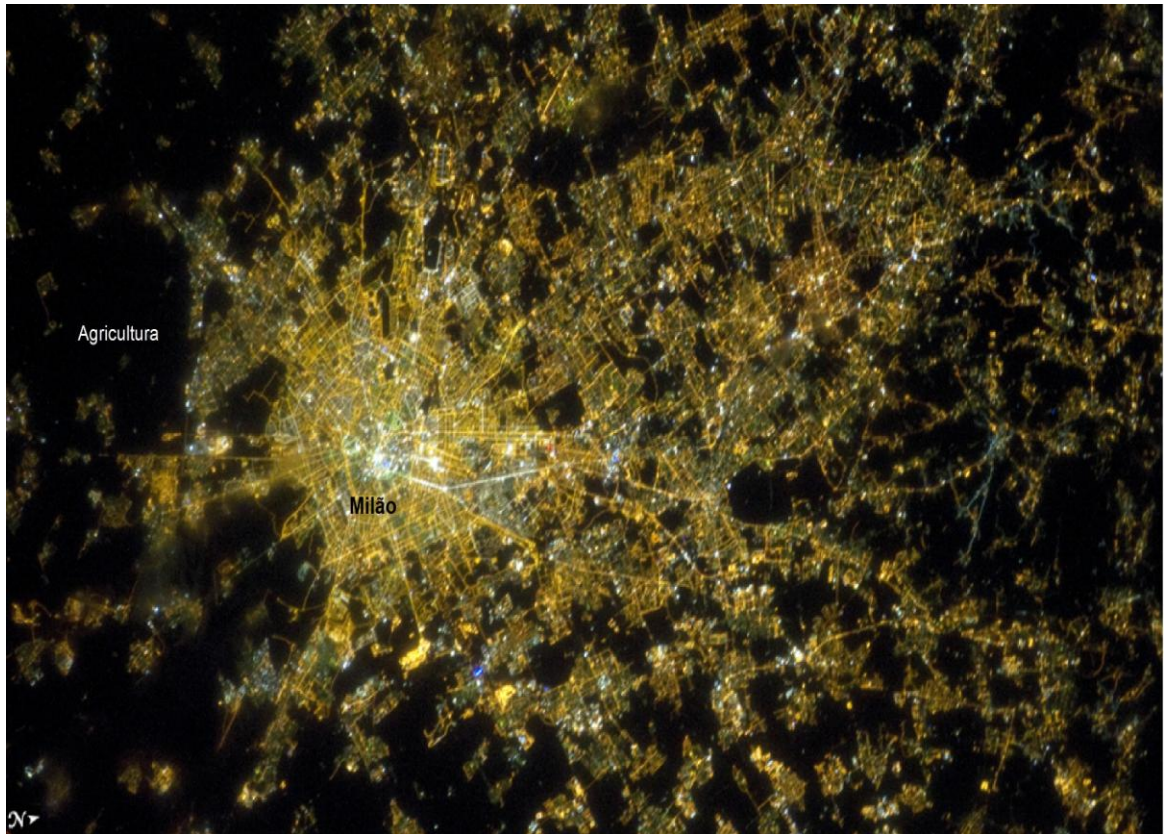


Figura 28 – Imagem noturna de Milão na região de Lombardia, Itália, 2011.

Fonte: Earth Observatory - NASA

Disponível em: <http://eol.jsc.nasa.gov/EarthObservatory/Milan_Italy_Night_2011.htm>. Acesso em: 10 jan. 2013.

Assim, como as fotografias registram a iluminação noturna emitida a partir de zonas urbanas, com o uso de imagens do satélite DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*), os quais contam com a tecnologia do sensor OLS (*Operational Linescan System*), pode-se fazer o mapeamento global das regiões iluminadas pelas luzes artificiais e acompanhar a evolução da poluição luminosa nas áreas urbanas (consideradas estratégicas para a expansão econômica dos países), como será abordado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3 – A POLUIÇÃO LUMINOSA NO BIOMA CERRADO

Neste capítulo, são apresentadas informações sobre a área de estudo e da importância das imagens DMSP/OLS para o mapeamento da poluição luminosa, bem como os procedimentos metodológicos para a elaboração dos produtos cartográficos para análise deste fenômeno, em especial sobre a Região Metropolitana de Goiânia.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O bioma Cerrado originalmente ocupava uma área de mais de dois milhões de quilômetros quadrados, o que representava aproximadamente 24% do território nacional. Como área contínua, o Cerrado abrange os Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, São Paulo, Tocantins, Paraná e o Distrito Federal (Figura 29).

Segundo maior bioma brasileiro, o Cerrado é um mosaico formado por grande variedade de tipos de vegetação, resultante da diversidade de topografia, climas e solos presentes nessa extensa região (ALHO; MARTINS, 1995). Segundo, Ab'Saber (2003), considerando os domínios morfoclimáticos, o bioma Cerrado limita-se à leste e à sudeste com o domínio de “Mares de Morros”; à leste e à nordeste, com o domínio da Caatinga; e a norte, com o domínio Amazônico. A única exceção fronteiriça é o domínio das Pradarias, localizado no extremo sul do Brasil, com o qual o Cerrado não tem contato. Os limites de transição entre dois ou mais domínios, de acordo com Ab'Saber (2003), ocorrem através das chamadas “faixas de transição”.

O clima é classificado predominantemente como tropical úmido (Aw), de Köppen, marcado por duas estações distintas: um período de seca, com duração entre quatro e cinco meses (entre maio e setembro), e um período chuvoso, geralmente concentrado no verão (entre outubro e abril), com duração que pode variar de quatro a oito meses, dependendo da localidade. A temperatura média anual varia de 18°C a 27°C, sendo que as médias mensais apresentam pequena estacionalidade. O aumento da temperatura ocorre no sentido sul-norte do bioma, onde as maiores médias (23°C – 27°C) são registradas na parte sul dos Estados do Maranhão e do Piauí e no sudoeste da Bahia. As menores médias (18°C – 22°C) podem ser encontradas na parte centro-sul do bioma, nos Estados de Minas Gerais, Goiás e de Mato Grosso do Sul (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008).

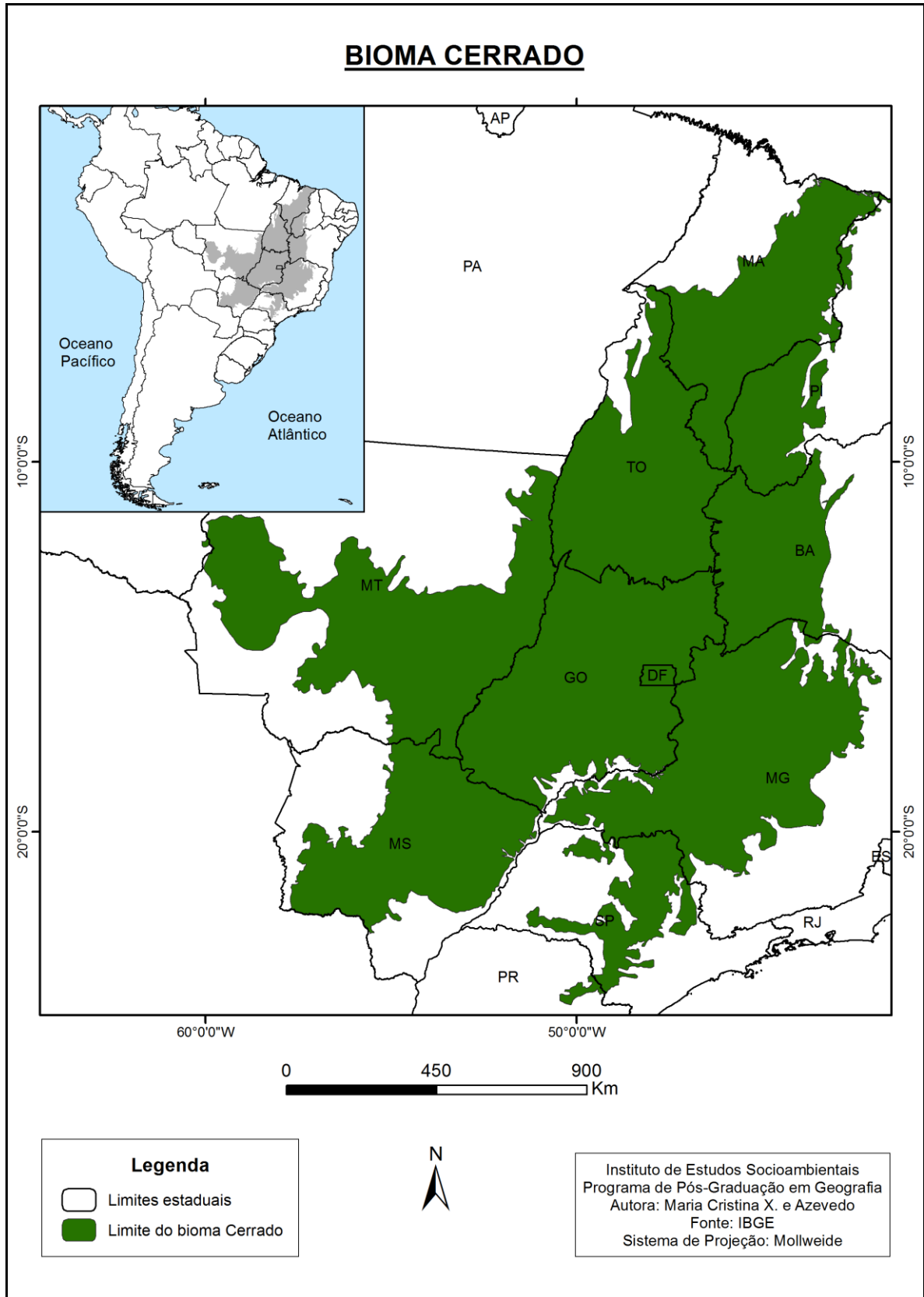


Figura 29 - Localização do bioma Cerrado em relação aos Estados do Brasil.

Em relação à precipitação, a média anual é da ordem de 1.500 mm, variando de 600 a 2.000 mm (LIMA; SILVA, 2008). As menores médias anuais, entre 400 a 600 mm, foram registradas no centro-sul do Piauí e em parte do Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais. No sentido leste para oeste, a precipitação anual pode atingir de 2.000 a 2.200 mm, sendo que, em parte do Estado do Tocantins podem ser registrados até 2.400 mm anuais (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008). No período de maio a setembro, os índices pluviométricos mensais diminuem bastante e a umidade relativa do ar pode atingir níveis muito baixos. No inverno seco, pode chegar a 38%; já no verão chuvoso, os níveis elevam (95% a 97%) (AB'SABER, 2003).

Esses fatores explicam a presença e o desenvolvimento das plantas lenhosas, que, por possuírem um sistema radicular profundo, parecem não ser afetadas pelas condições do período de seca (RAWITSCHER, 1948 apud OLIVEIRA FILHO; MEDEIROS, 2008). Enquanto a camada superficial do solo fica completamente seca, as camadas mais profundas conseguem preservar a umidade nessa estação. Por outro lado, as plantas que possuem sistemas radiculares menos profundos, como as herbáceas, são severamente afetadas pela seca e tornam-se potenciais combustíveis para as queimadas (OLIVEIRA FILHO; MEDEIROS, 2008).

Ainda que esses aspectos configurem em uma vegetação aparentemente “pobre”, “inferior” ou “vulnerável”, na realidade, representam a formação de um riquíssimo mosaico vegetacional que, nas últimas décadas, tem sido amplamente degradado pelas atividades agropecuárias e demais formas de ocupação humana, em consequência da falta de sensibilização do público em geral que, por vezes, se preocupa mais com a preservação das florestas tropicais (WALTER; CARVALHO; RIBEIRO, 2008).

A ocupação e a exploração intensa do Cerrado, vistas, como alternativa ao desmatamento da Amazônia, provocaram mudanças na paisagem natural. Grandes extensões da vegetação foram reduzidas a pequenos fragmentos naturais e dispersos. Como esses fragmentos recebem grandes influências de fatores externos (por exemplo: fogo, invasão de outras espécies, etc.), tornam-se incapazes de conservar a biodiversidade de espécies naturais (AQUINO; MIRANDA, 2008). Assim, em decorrência do intenso processo de conversão antrópica causado pelo avanço da fronteira agrícola, o Cerrado tornou-se um dos biomas mais ameaçados do mundo. De acordo com Sano et al. (2008), bastaram aproximadamente pouco mais de três décadas para que 40% da área do bioma fossem convertidas em pastagens, agricultura e urbanização. Os desmatamentos, segundo Ferreira et al. (2009), ocorrem de

forma intensa, e somente no período de 2003 a 2004 foram desmatados 8.500 km² desse bioma.

Com a degradação ambiental decorrente do avanço da agricultura, inicialmente impulsionado pelo baixo custo das terras, acompanhado da adoção de tecnologias modernas no campo e de planos e programas que visavam a ocupação, o Cerrado transformou-se em um grande “celeiro” agrícola, ocupado, principalmente, por monoculturas (por exemplo: soja, milho, etc.), pela bovinocultura e, atualmente, conforme Sano et al., 2002 (apud Ferreira et al., 2009), também pelo crescimento do mercado energético de biocombustíveis.

Outro reflexo resultante do processo de ocupação do Cerrado é a expansão urbana que provocou o crescimento de cidades antigas e o surgimento de novas cidades. Em Goiás, o processo de urbanização ocorreu paralelamente à expansão da agricultura em áreas de relevo plano favoráveis à ocupação e à adoção de novas formas de manejo do solo, as quais permitiram o cultivo de monoculturas (lavouras de soja, milho, sorgo, algodão, etc.).

Os pequenos aglomerados urbanos existentes no meio rural tinham o papel de mobilizar populações, atraindo pessoas e desenvolvendo o tráfego. Isso contribuiu para a construção da estrada de ferro no sul do Estado, no início do século XX, e para a edificação, posteriormente, de uma infraestrutura viária que impulsionou ainda mais as trocas, os intercâmbios comerciais e sociais e a expansão da fronteira agrícola, promovendo, com a incorporação de novas áreas de produção, a inserção do Estado à economia de mercado (NETO, 2008).

A construção de Brasília, em 1960, a leste da capital goiana, resultou em importantes transformações ocorridas em toda a rede urbana e no adensamento populacional do interior do Brasil (AB’SABER, 2003). A partir da edificação de Brasília, foi desenvolvido um programa de construção de rodovias que visava à integração nacional. Foram criadas as rodovias Belém-Brasília (BR-153) e a Brasília-Belo Horizonte (BR-040) que, respectivamente, conectam a capital à Região Norte e ao sudeste brasileiro.

A construção da Belém-Brasília (BR-153), além de ter contribuído para a integração dos centros urbanos do norte do país aos centros comerciais goianos, de acordo com Estevam (1998), contribuiu também para a ocupação e povoamento do norte de Goiás, hoje denominado de Estado do Tocantins. Segundo Neto (2008), esse Estado é fruto das mudanças provocadas no espaço com o surgimento da rede urbana. Outras estradas federais também foram construídas, entre elas a BR-010 (liga a região central ao nordeste goiano), a BR-020 (Brasília-Formosa, em direção à Fortaleza), a BR-050 (entre Brasília e São Paulo), a BR-060

(em direção ao Mato Grosso e ao Paraguai), a BR-452 (liga o sudoeste goiano ao Triângulo Mineiro) e a BR- 364 (estende-se ao Mato Grosso via sudoeste goiano) (ESTEVAM, 1998).

Com a abertura de novas rodovias que atravessam o território goiano e o intenso fluxo migratório registrado a partir da construção de Brasília, ocorreu o surgimento de vários povoados e cidades, assim como o início da poluição luminosa no Estado de Goiás, resultante da expansão urbana sobre o Cerrado, integrando-o à economia nacional.

3.2 O PROGRAMA DMSP E AS IMAGENS NOTURNAS

Em meados da década de 1960, o Departamento de Defesa estadunidense promoveu o início ao programa de satélites da família DMSP (Programa de Satélites Meteorológicos de Defesa), com o objetivo inicial de recolher informações que auxiliariam no planejamento de ações de defesa dos Estados Unidos (LIU, 2006). O DMSP é administrado pela *Air Force Space and Missile Systems Center* (SMC), que projeta, constrói, lança e mantém diversos satélites para o monitoramento meteorológico e oceanográfico dos Estados Unidos e também da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Os satélites do programa DMSP estão em órbita heliossíncrona, quase polar, a uma altitude de aproximadamente 830 km. Com um período orbital de 101 minutos, realiza 14 órbitas, em que cada satélite passa até duas vezes por dia sobre o mesmo ponto da superfície terrestre, oferecendo uma cobertura global da atmosfera da Terra a cada 6 horas. Os dados dos satélites DMSP são baixados pela *Thule Air Base*, localizada na Groelândia, e transmitidos via satélite para *Air Force Weather Agency* (AFWA), sendo descriptografados e enviados para o *National Geophysical Data Center* (NGDC).

Após os dados coletados serem catalogados em listas e copiados para uma fita, eles são processados pelo software desenvolvido pela equipe do NGDC, sendo, aproximadamente, 8,5 gigabyte de dados diários, coletados por quatro satélites. O processamento desses dados envolve a renavegação completa do satélite, o tempo de reordenação dos dados, a divisão e a separação por sensor, a correção de problemas durante a transmissão, a organização dos dados dentro de cada órbita e a escritura deles em um sistema de biblioteca de fita robótica. A AFWA envia diariamente os dados dos satélites DMSP para o *Earth Observation Group* (EOG) para serem arquivados e criados produtos.

O DMSP tem o sensor chamado *Operational Linescan System* (OLS), isto é, um radiômetro de varredura oscilatória, com um campo de visão de aproximadamente 3.000 km de largura da superfície terrestre em direção leste-oeste. Em alta resolução espacial, a imagem

é registrada a 0,55 quilômetros (km), enquanto em baixa, a resolução é de 2,7 km. O OLS é capaz de captar cenas globais noturnas e diurnas na faixa do visível (0,4 – 1,1 μm) e do infravermelho termal (TIR) (10 – 13,4 μm) do espectro eletromagnético. Durante as noites, esse sensor utiliza um tubo fotomultiplicador, *Photo Multiplier Tube* (PMT), que intensifica o sinal na banda do infravermelho próximo NIR (0,47 – 0,95 μm).

A característica principal desse sensor²² é a detecção do baixo nível de radiação NIR, emitida por objetos que refletem pouca quantidade de luz natural, como a refletida pela Lua, possibilitando localizar cidades, centros industriais, vilarejos e pontos de luz noturna, como as luzes de embarcações marítimas, de fenômenos efêmeros (queimadas e incêndios) e de queima de gás que podem ocorrer no mar ou em áreas isoladas sem a presença da iluminação urbana (MIRANDA; ELVIDGE; PANIAGO, 1996; LIU, 2006; ELVIDGE et al., 2007).

O sistema sensor DMSP/OLS é composto por três bandas espectrais: uma imagem sem cobertura de nuvens (*cloud free coverages band*), outra do visível (*average visible*) e a terceira chamada de luz estabilizada (*stable lights*). A imagem sem cobertura de nuvens pode ser utilizada para a identificação de áreas com baixos números de observações, em que a qualidade é reduzida, devido à presença de nuvens. Em determinadas épocas do ano, existem áreas em que as observações podem ser feitas sem nuvens (Figura 30).

²² As imagens do programa DMSP/OLS estão disponíveis na internet a partir da série de satélites F10, F12, F14, F15, F16 e F18, no endereço <http://www.ndgc.noaa.gov/dmsp/dmsp.htm>, onde podem ser encontrados maiores informações sobre o programa, o sensor, os produtos e a disponibilidade para o *download* de imagens. Tem-se também como centro de distribuição desses dados o *site* do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) / UFG.



Figura 30 – Recorte da América do Sul, imagem *cloud free coverages band*, DMSP/ OLS - F10 1992.

A segunda cena do visível é a imagem bruta, que contém os valores numéricos da faixa digital do visível sem filtragem. Os valores dos dados variam entre zero e 63. As áreas que foram observadas sem a presença de nuvens são representadas pelo valor zero (Figura 31).



Figura 31 – Recorte da América do Sul, imagem *average visible*, DMSP/ OLS - F10 1992.

Na terceira imagem (luz estabilizada), há apenas as luzes das cidades e de outros locais com iluminação persistente. Os valores variam entre 1 e 63 e, nas áreas sem a presença de nuvens, o valor atribuído foi zero (Figura 32).



Figura 32 – Recorte da América do Sul, imagem *stable lights*, DMSP/ OLS - F10 1992. Os pontos e as manchas brancas revelam as localizações e extensões da ocupação humana no Brasil, na América do Sul e em parte da América Central.

A imagem *stable light* ou de luz estabilizada representa um dos maiores progressos no processo de obtenção de dados noturnos. De acordo com Doll (2008), durante seis meses de aquisição das imagens (de outubro/1994 a março/1995), pesquisadores do NGDC/NOAA construíram uma composição temporal da Terra à noite a partir de cenas sem nuvens e com baixa iluminação lunar. Esse estudo possibilitou o desenvolvimento de um algoritmo que facilitou a detecção de luz automaticamente nas imagens; sendo que o valor do pixel somente foi atribuído de acordo com a porcentagem de vezes que a luz era detectada nas imagens sem nuvens.

As luzes nas cidades são mais fáceis de serem identificadas porque são estáveis; incêndio e outras luzes efêmeras, embora possam ter a localização identificada, são removidos por apresentarem elevado brilho e não possuírem estabilidade. A respeito das áreas não iluminadas (de fundo), elas foram definidas com o valor zero. Com a aplicação desse procedimento, foi possível filtrar e identificar os tipos de fontes luminosas que podem ser

vistas na superfície terrestre. Esse método foi aplicado no processamento das imagens de luzes estáveis de todo o arquivo de dados OLS, da versão 4²³ (de 1992 a 2009).

Vale ressaltar, porém, que as informações de dois satélites DMSP/OLS não apresentam dados compatíveis para os mesmos anos e os pesquisadores do NGDC/NOAA constataram que há pouca informação de como esses dados podem variar, mas reconhecem que se faz necessário o desenvolvimento de um algum tipo de calibração interna para ajudá-los nas pesquisas de interpretação do brilho ao longo dos anos (DOLL, 2008). Outro problema foi identificado por Small, Pozzi e Elvidge (2005): após analisarem as imagens DMSP/OLS 94/95, constataram que a área iluminada em um conjunto de cidades era superior à área real construída, que foi identificada por meio das imagens do satélite *Landsat*.

Esses erros também já haviam sido identificados pelos pesquisadores do NGDC/NOAA, os quais já aplicam limiares para reduzir essas distorções nas cenas, reconhecendo a necessidade de estudos mais detalhados sobre o assunto (DOLL, 2008). Com a redução das distorções, os produtos de luzes estáveis, em imagens noturnas disponibilizadas pelo NGDC/NOAA, no portal do EOG, estão livres de problemas de luzes efêmeras e da cobertura de nuvens.

O sistema sensor DMSP/OLS originalmente foi concebido, pelo SMC dos Estados Unidos, como um satélite meteorológico para a observação noturna da cobertura de nuvens, entretanto, as imagens noturnas possibilitaram constatar a ocupação humana por meio das emissões de luzes que vinham da superfície (DOLL, 2010). Desde então, vários estudos utilizando imagens DMSP/OLS têm sido realizados, objetivando mapear a distribuição e a densidade de áreas construídas em escala global (ELVIDGE et al., 2007), mapear as emissões de dióxido de carbono – CO₂ (ODA; MAKSYUTOV, 2010) e analisar globalmente as condições causadoras de estresse sobre os recifes de coral (AUBRECHT; ELVIDGE; EAKIN, 2008).

Sobre os estudos com imagens noturnas, os membros do EOG sugerem que elas ultrapassem o limite da localização urbana e também sejam usadas para descrever as relações de densidade populacional. Em 2005, Sutton, Professor do departamento de Geografia e Meio Ambiente, da Universidade de Denver, nos Estados Unidos, concluiu que, com a reunião dos dados para as áreas urbanas contíguas, como de macrorregiões ou de Estados, a análise espacial dos agrupamentos/*clusters* de *pixels* saturados poderia ser usada para estimar a população, apresentando uma variação de 81%, idêntica à que foi observada pela Agência de

²³ Disponível para *download* no *site* do EOG (BAUGH et al., 2010).

Recenseamento Americana para uma área formada por 32 distritos, utilizando dados multiespectrais aerotransportados, com resolução espacial de 2,5 x 2,5 m (JENSEN, 2009).

No Brasil, Amaral et al. (2001) e Kampel (2003) obtiveram resultados promissores ao investigar a presença e a atividade humana na Amazônia por meio das imagens noturnas DMSP/OLS e consideraram que o uso dessas imagens representa uma alternativa para o monitoramento de regiões em que os dados censitários são escassos e o trabalho de campo muito dispendioso (AMARAL et al., 2006).

Em um estudo preliminar, as imagens *stable lights* DMSP foram utilizadas para avaliar a taxa de urbanização do bioma Cerrado, no período de 1992 a 2009. Constatou-se, por meio da concentração de luzes por km², que o aumento das manchas de luzes condizia com as áreas com maior crescimento demográfico e de expansão urbana nas últimas décadas nessa região (AZEVEDO et al., 2011b). Entretanto, ressalta-se que o emprego dessas imagens não está limitado apenas aos estudos de expansão urbana, pois elas configuram-se em aliadas para comprovar o desperdício energético das áreas urbanas, acompanhar a evolução e estimar a poluição luminosa no mundo, como apresentado por Cinzano et al. (1999); Cinzano et al. (2000); Cinzano, Falchil e Elvidge (2001a); Cinzano, Elvidge (2004); Miguel, Zamorano (2011).

Na Itália, a Universidade de Pádua e o *Istituto di Scienza e Tecnologia dell'inquinamento luminoso* (ISTIL) possuem parceria com o NDGC, nos Estados Unidos, para a realização do projeto “Monitoramento global da poluição luminosa e do brilho do céu noturno a partir dos dados do satélite DMSP”. Esse projeto subdivide-se em outros trabalhos e conta financeiramente com a colaboração de diversas agências e organismos (Agência Espacial Italiana, *International Dark-Sky Association* - IDA, alguns observatórios astronômicos, etc.) para a execução das pesquisas. Com as colaborações recebidas para o desenvolvimento dos projetos, o ISTIL construiu o *Laboratorio di fotometria e radiometria dell'inquinamento luminoso* (LPLAB), criado especificamente para o estudo sobre a poluição luminosa e o desenvolvimento de equipamentos para atender às necessidades deste estudo.

Nas pesquisas anteriores ao emprego de imagens de satélite, utilizavam-se as leis de propagação da luz e dados populacionais para estimar a poluição luminosa. Desse modo, o emprego do sensoriamento remoto representou uma nova etapa na geração de novos dados para a pesquisa sobre a poluição luminosa (CINZANO et al., 1999).

Com a disponibilização das imagens do sistema DMSP/OLS, Cinzano, Falchil e Elvidge (2001a) apresentaram um atlas da poluição luminosa no mundo, no qual estimam que 80% dos habitantes dos Estados Unidos, 2/3 da população da União Europeia e mais de um

quarto da população mundial não sabem mais o que representa a escuridão da noite em suas vidas. Os resultados desse estudo mostram que nas regiões urbanas em todo o mundo, as pessoas, praticamente, não são capazes de verem o céu estrelado, uma consequência do modelo de vida que contribui para cidades muito poluídas pela luz (GHETTI, 2002). Como a qualidade do céu noturno nas áreas densamente povoadas está comprometida pela iluminação que aumenta anualmente, as futuras gerações provavelmente não saberão o que é dormir com uma noite escura e com céu totalmente estrelado (ROMANO, 2002).

A partir desse atlas proposto por Cinzano, Falchil e Elvidge (2001a) surgiram novos estudos para mapear a poluição luminosa na Europa e verificar a situação do céu noturno principalmente na Itália, o qual é considerado muito degradado pela ação da luz mesmo em noites serenas, como destaca Cinzano²⁴:

Na Lombardia, Campania e Lácio, cerca de três quartos da população perdeu a capacidade de ver a Via Láctea, de onde eles vivem, mesmo nas noites mais serenas. Na Ligúria, Emilia-Romanha e Toscana, dois terços da população está sob as mesmas condições. Na Sicília, Veneto, Piemonte, Puglia e Friuli Venezia Giulia cerca de metade da população não conseguem ver a Via Láctea. O percentual cai para cerca de um terço na Sardenha e Marche e Abruzzo em quarto. Na Úmbria, Calábria e Molise apenas uma pessoa em cada dez vive em um lugar do qual a Via Láctea é totalmente invisível. As mais sortudas regiões são Trentino-Alto Adige, Basilicata e Vale d'Aosta, onde a Via Láctea é ainda visível para quase todo mundo, pelo menos nas noites mais serenas. (CINZANO; FALCHI; ELVIDGE, 2001b, p. 4)

Com a concentração das pessoas, principalmente nas cidades, a poluição luminosa tornou-se “concentrada”, sobretudo nas áreas urbanas, zonas costeiras e ao longo das principais vias de transportes, as quais interligam as redes urbanas aos centros econômicos locais, regionais e nacionais. Azevedo et al. (2010) observaram, por meio das imagens do sistema sensor DMSP/OLS para o mapeamento da poluição luminosa no Brasil, que existe uma forte concentração de luzes a partir das regiões costeiras e metropolitanas em franca expansão para o interior do território nacional. Esse fenômeno é um problema ambiental global que compromete a qualidade da escuridão da noite e pode afetar a vida de todos os seres vivos, tornando-se necessário o emprego de mais formas para divulgar os problemas causados por esse tipo de poluição a fim de serem amenizados os impactos já causados e evitar maiores danos.

²⁴ Situazione dell'inquinamento luminoso in Italia. Disponível em: <<http://www.inquinamentoluminoso.it/cinzano/stato.html>>. Acesso em: 1 jul. 2012.

3.3 ELABORAÇÃO DO MAPA DE POLUIÇÃO LUMINOSA

Esta etapa da pesquisa consistiu na coleta de dados primários, ou seja, das imagens²⁵ do satélite sensor DMSP-OLS, que recobre toda a extensão da superfície terrestre. Cada imagem DMSP/OLS é formada por três bandas espectrais: uma imagem com cobertura de nuvens (*cloud free coverages band*), outra do visível (*average visible*) e uma terceira chamada de luz estabilizada (*stable light*), como citado na seção 3.2. Neste trabalho, foram utilizadas apenas as cenas *stable light*, por conterem apenas informações de iluminação proveniente de cidades, vilarejos, áreas industriais ou outras localidades com a iluminação persistente. Dentre as imagens disponíveis, trabalhou-se com a série de cenas dos satélites F10 (para os anos de 1992, 1993, 1994), F12 (1995, 1996, 1997, 1998, 1999), F15 (2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006), F16 (2005, 2007, 2008, 2009) e F18 (2010).

Todas as etapas da pesquisa foram realizadas com o uso do software *Environment for Visualizing Images* (ENVI), versão 4.8, e, para cada uma das cenas, a área correspondente ao bioma Cerrado foi delimitada e recortada utilizando-se o recurso *Envi Vector File* (EVF). Em seguida, a imagem do bioma Cerrado foi convertida do formato *raster* para o formato vetor com o uso da ferramenta *Export Layers to Shapefile*, presente na opção *Available Vectors List/ File* e existente no *menu Vector*. A conversão fez-se necessária para a quantificação da área de ocorrência das luzes. Com as imagens vetorizadas, foi possível fazer a análise desses dados num Sistema de Informações Geográficas – SIG. Nesta etapa utilizou-se o *software ArcGIS* - versão 10 para elaborar os produtos cartográficos.

A representação cartográfica da poluição luminosa descrita por Azevedo (2013) foi determinada num ambiente SIG; neste caso, do *software ArcGis* - versão 10. O primeiro passo foi definir qual a melhor escala a ser trabalhada para, posteriormente, estabelecer a sequência de cores da legenda do mapa de poluição luminosa. O estabelecimento da escala fez-se a partir da imagem do recorte do bioma Cerrado, por meio do uso da opção *zoom* para aproximar e afastar a imagem, observando-se a existência de exageros na visualização da imagem na tela do computador em consequência de existir um limite visual de contraste para a representação dos dados. A partir desse trabalho com o *zoom*, chegou-se a três níveis de

²⁵ As imagens foram obtidas no portal de imagens do *Earth Observation Group* – EOG, em sua *homepage* (ngdc.noaa.gov/dmsp/download.html). Elas são disponibilizadas para *download* após serem tratadas pelos técnicos do NGDC, que filtram imagens as interferências atmosféricas e de outras fontes de luz, tais como luzes de embarcações marítimas ou focos de queimadas.

escalas: uma pequena, uma intermediária e uma grande; o próximo passo foi determinar a quantidade de classes a serem trabalhadas.

Na imagem *stable lights*, do sistema sensor DMSP-OLS, os valores válidos possuem níveis de cinza na escala de 1 a 63, cujas unidades estão marcadas em W/m^2 ; eles demonstram o fluxo de energia luminosa direcionado para o céu registrado pelo satélite. Os diversos valores dos fluxos de energia estão agrupados em oito classes, definidos de acordo com a intensidade do brilho da luz artificial detectada pelo sensor. Os testes realizados para estabelecer a quantidade de classes foram realizados visualmente, por meio da tela de computador, até chegar à seguinte classificação: para a representação em pequena escala seriam utilizados quatro intervalos; para a escala intermediária, no máximo seis intervalos; e, em grande escala, a quantidade de intervalos seria oito, em consequência de apresentar um nível de detalhamento maior.

Com o estabelecimento das escalas e da quantidade de intervalos, partiu-se para a escolha das cores correspondentes a cada classe. Um ordenamento de cores foi planejado de modo que a opção por um determinado conjunto de cores fosse compreendida como uma sequência, partindo-se do menor valor até atingir o valor mais alto, traduzindo a ideia de que nesta última classe a concentração de luzes é maior. As áreas em que o satélite não detectou nenhuma iluminação persistente são representadas no mapa pela cor preta.

Do mesmo modo, onde se realizaram os testes que definiram a quantidade de intervalos foram feitos também inúmeros testes visuais até chegar à sequência de cores das classes para compor a legenda do mapa. O resultado é o uso da sequência de cores frias para cores quentes, em que se recomenda a aplicação da cor vermelha no último intervalo.

A intercalação de cores configura representações eficientes sobre a poluição luminosa. Nela, a ordem a ser seguida inicia-se pela cor cinza no primeiro intervalo; a partir da segunda classe, segue-se a sequência de cores frias para quentes e utiliza-se a cor branca para o último intervalo, que representa a região com maior concentração de luzes. Portanto, essas duas sequências, de cores frias para quentes, mostraram-se satisfatórias para representar esse tipo de poluição, sendo que, sua aplicação é recomendada para escala pequena, pois, em consequência do nível de detalhamento, a cor vermelha fica visualmente mais destacada, chamando a atenção do leitor para o tema do mapa. A intercalação de cores fica mais bem empregada para as escalas grandes e intermediárias.

3.4 POLUIÇÃO LUMINOSA SOBRE OS ESTADOS

Nos mapas de 1992 (Figura 33) e 1993 (Figura 34), verifica-se aumento de pontos e manchas luminosas em todos os Estados que compõem o bioma Cerrado. Nos Estados do Tocantins e Maranhão surgiram cerca de 23 novos pontos de luz; na Bahia e no Piauí, aparecem 20 e 9 novos pontos, respectivamente. Em São Paulo, uma das regiões mais urbanizadas do mundo, é possível localizar por volta de doze novos pontos, e em Minas Gerais, aproximadamente, vinte pontos foram localizados a oeste, centro e norte do Estado. Em Goiás e Mato Grosso surgiram, nesse período, aproximadamente 30 novos pontos de luz em toda a extensão territorial, enquanto no Mato Grosso do Sul, cerca de vinte novos pontos.

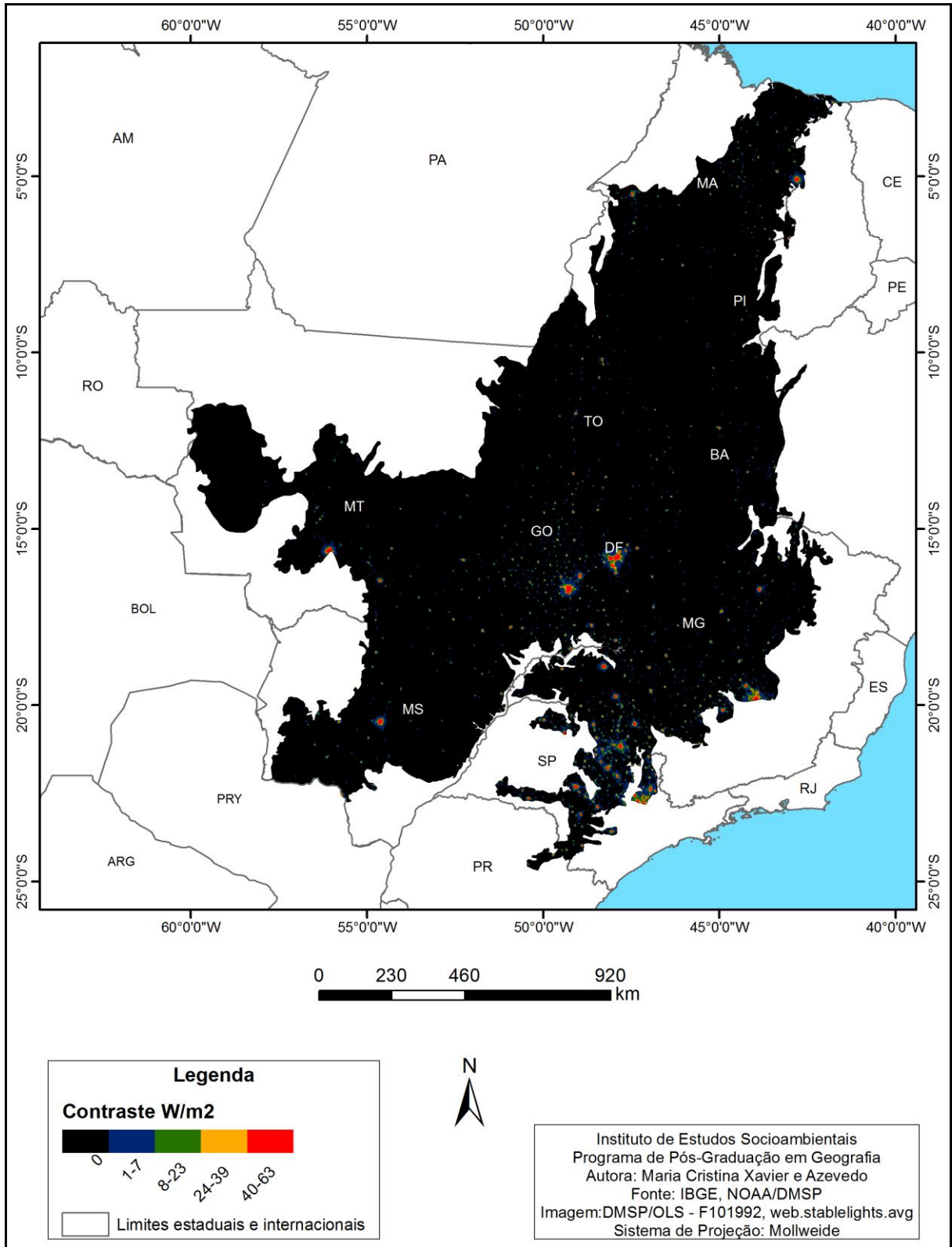


Figura 33 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1992.

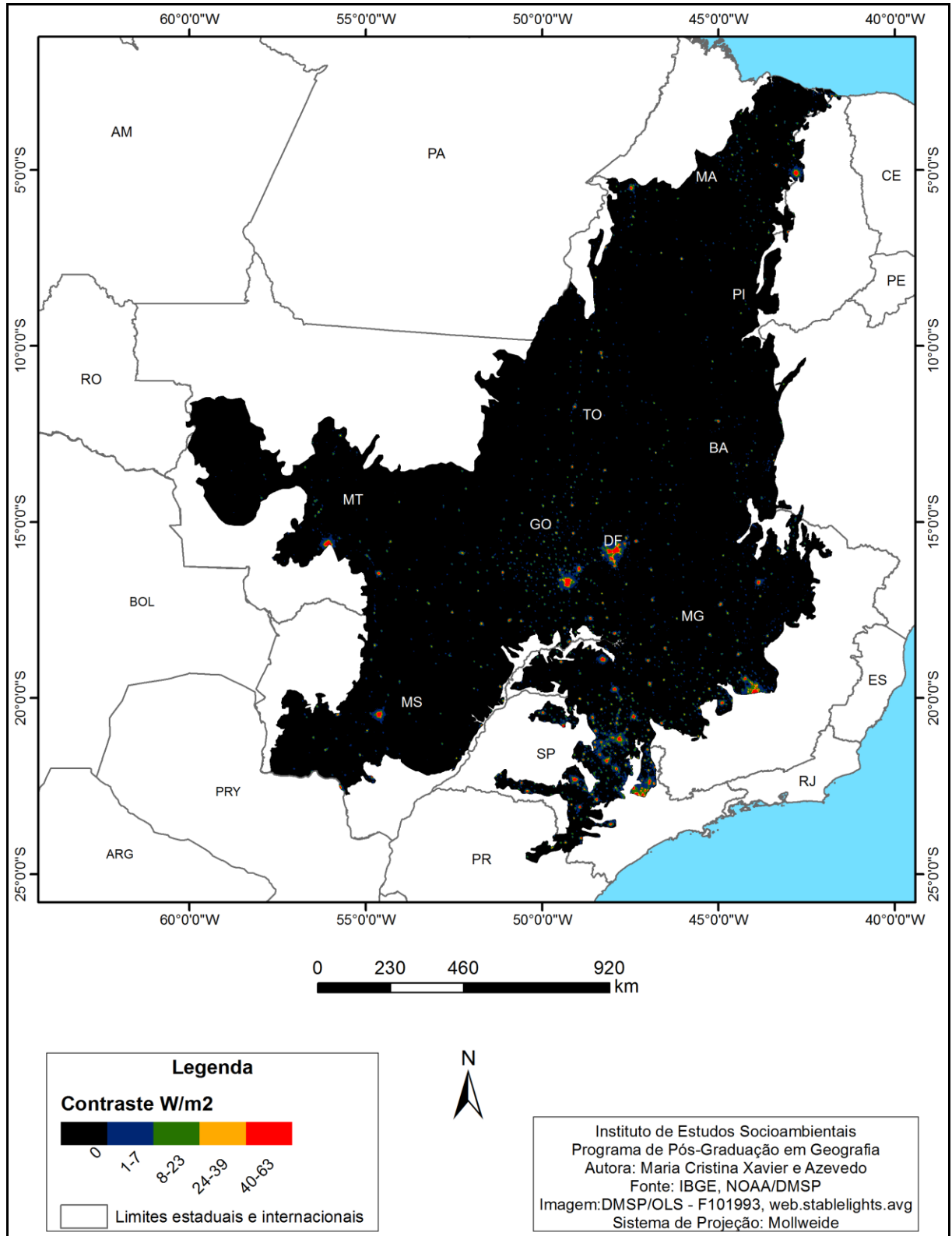


Figura 34 – Mapa de poluição luminosa do bioma Cerrado – 1993.

Observando-se as Figuras 34, 35 e 36, que correspondem respectivamente aos anos de 1993, 1994 e 1995, percebe-se que as manchas luminosas localizadas sobre as capitais dos Estados e sobre o Distrito Federal aumentaram e que, no interior dos Estados de Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Tocantins, surgiram minúsculos pontos de luz.

Comparando os mapas de 1995 (Figura 36) e 1996 (Figura 37), nota-se aumento de números de pontos de luz no norte mato-grossense, nos municípios de Sorriso, Ipiranga do Norte e Nova Mutum, e o aumento da área iluminada em Campo Novo do Parecis, a noroeste de Cuiabá. Em Minas Gerais, São Paulo e Goiás, houve o aumento da área iluminada de um ano para o outro e o surgimento de vários novos pontos e de alguns micropontos de luz. Na Região Norte, o Estado do Tocantins apresentou aumento da área iluminada nos municípios de Gurupi e Palmas e, ao norte do Estado, os municípios da microrregião do Bico do Papagaio apresentaram novos pontos de luz. No Maranhão, foram detectados de novos pontos de luz no sul, nos municípios de Balsas e Riachão. Em outros Estados do Nordeste, como Piauí e Bahia, também surgiram novos micropontos de luz.

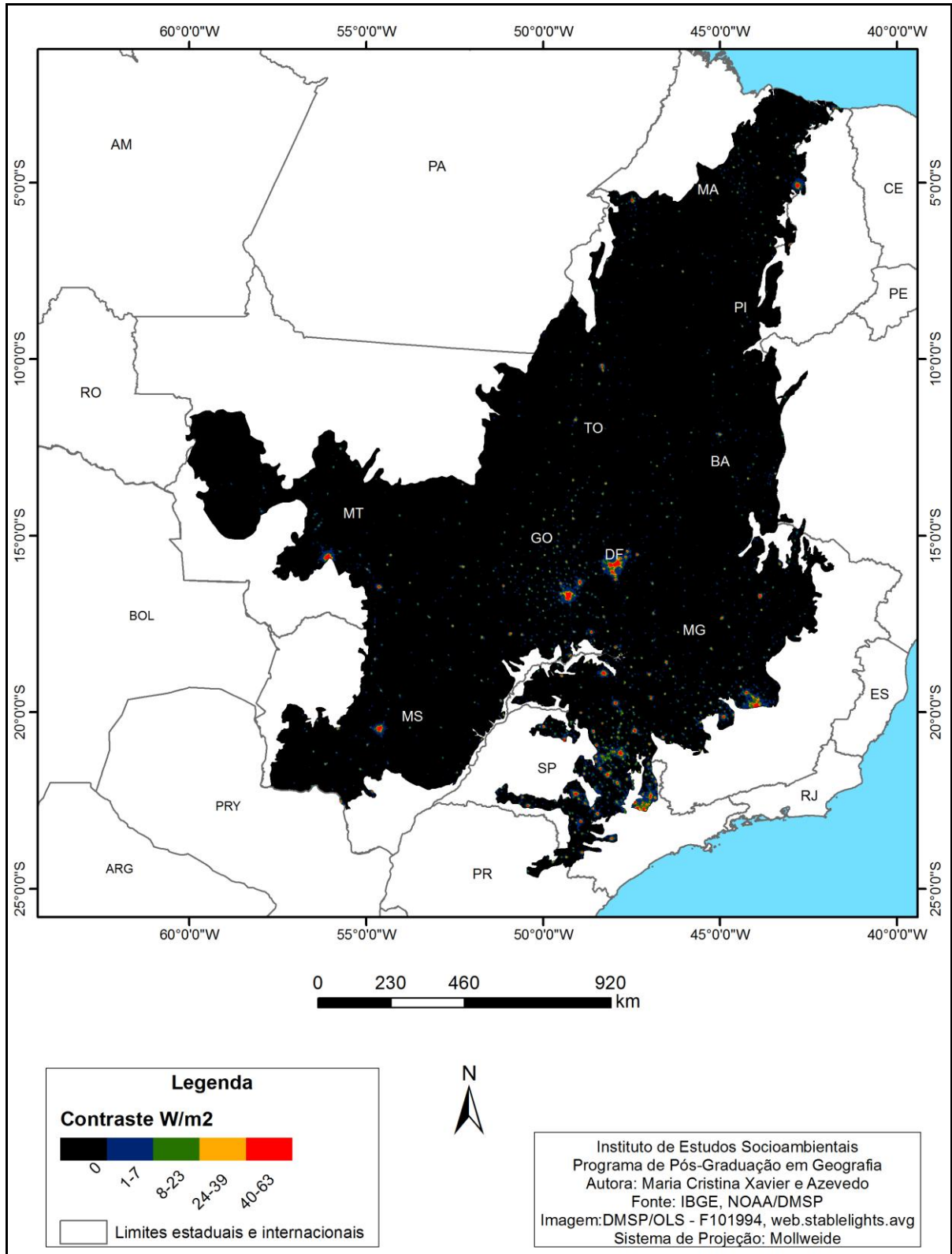


Figura 35 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1994.

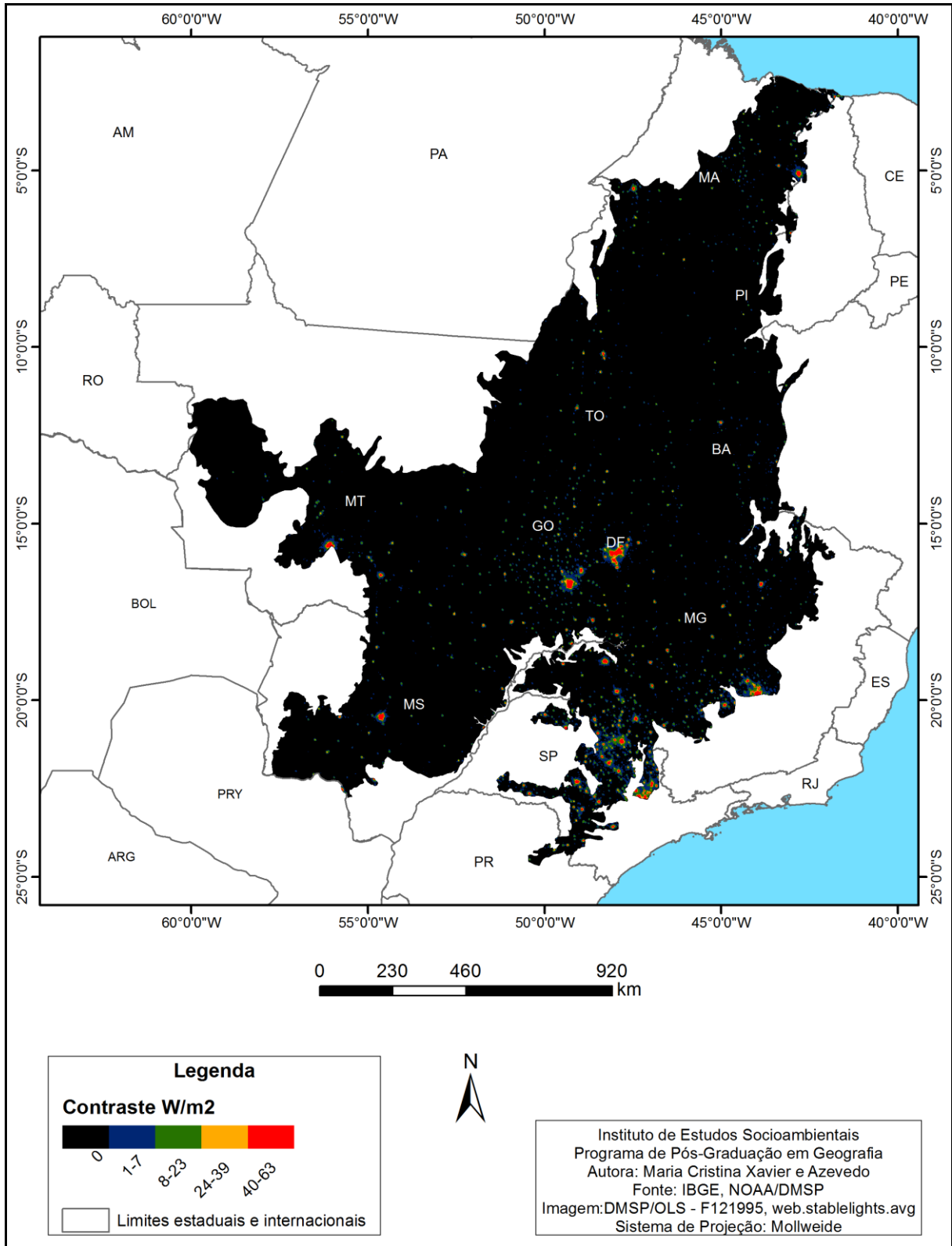


Figura 36 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1995.

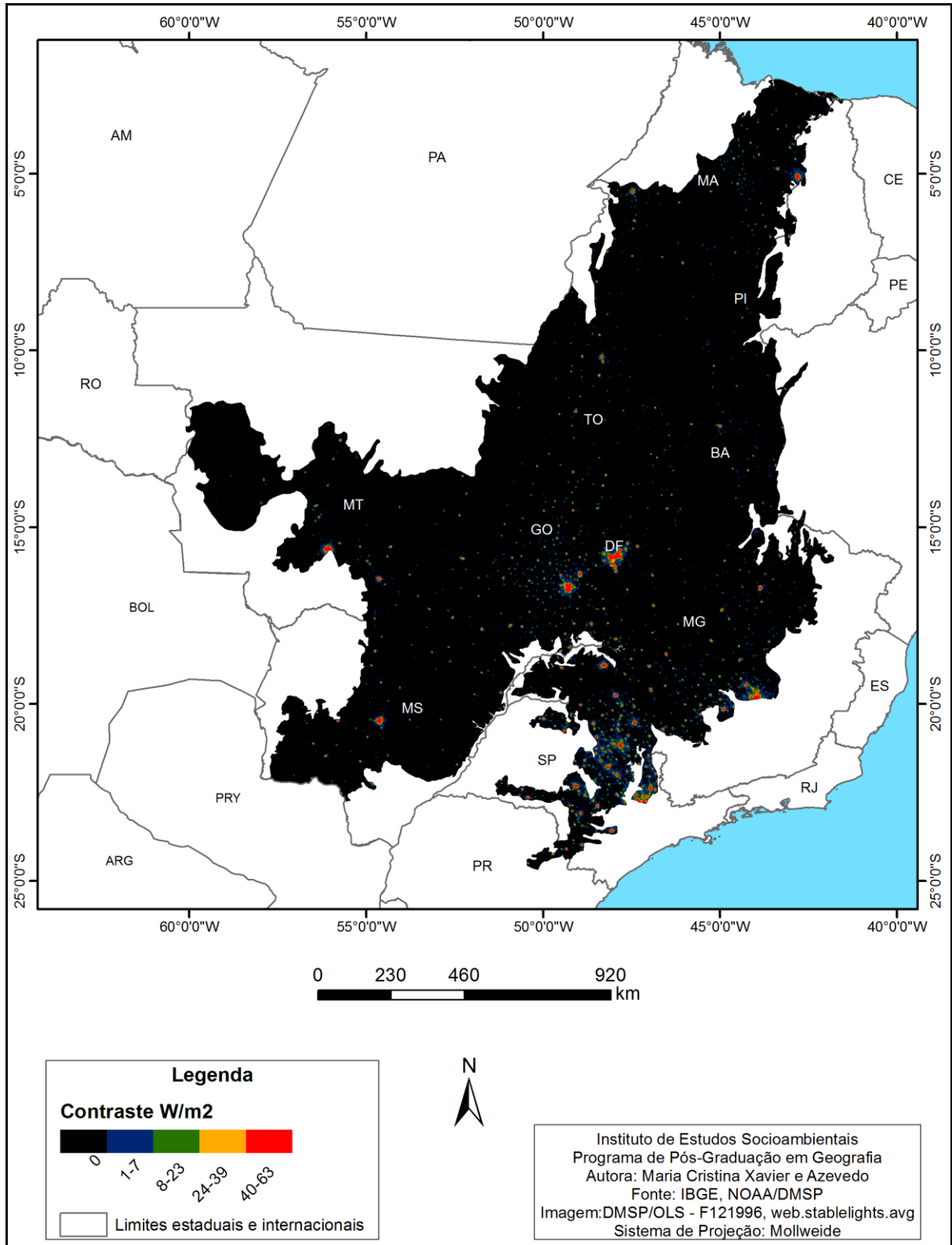


Figura 37 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1996.

Entre os anos 1996 (Figura 37), 1997 (Figura 38) e 1998 (Figura 39), nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Goiás, houve aumento da área iluminada. Em Minas Gerais, continuaram surgindo novos pontos de luz na região norte do Estado e a oeste da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Em Goiás, encontraram-se alguns novos pontos de luz na porção sudoeste do Estado. Além desses Estados, em Mato Grosso, nesse período, a área da mancha luminosa nos municípios de Cuiabá (centro sul), Rondonópolis (sudeste) e Barra do Garças (nordeste) aumentaram. No Maranhão, observou-se que o número de pontos de luz aumentou na região central, onde estão localizados os municípios de Grajaú, Barra da Corda e Jenipapo dos Vieiras. No sudoeste do Estado, na cidade de Imperatriz, verifica-se que a mancha luminosa ultrapassou os limites territoriais e encontra-se com as luzes dos municípios vizinhos. Na Bahia, observou-se aumento da área de luz dos municípios com o surgimento de novos pontos luminosos, sobretudo no município de Serra do Ramalho e em municípios localizados no extremo oeste baiano.

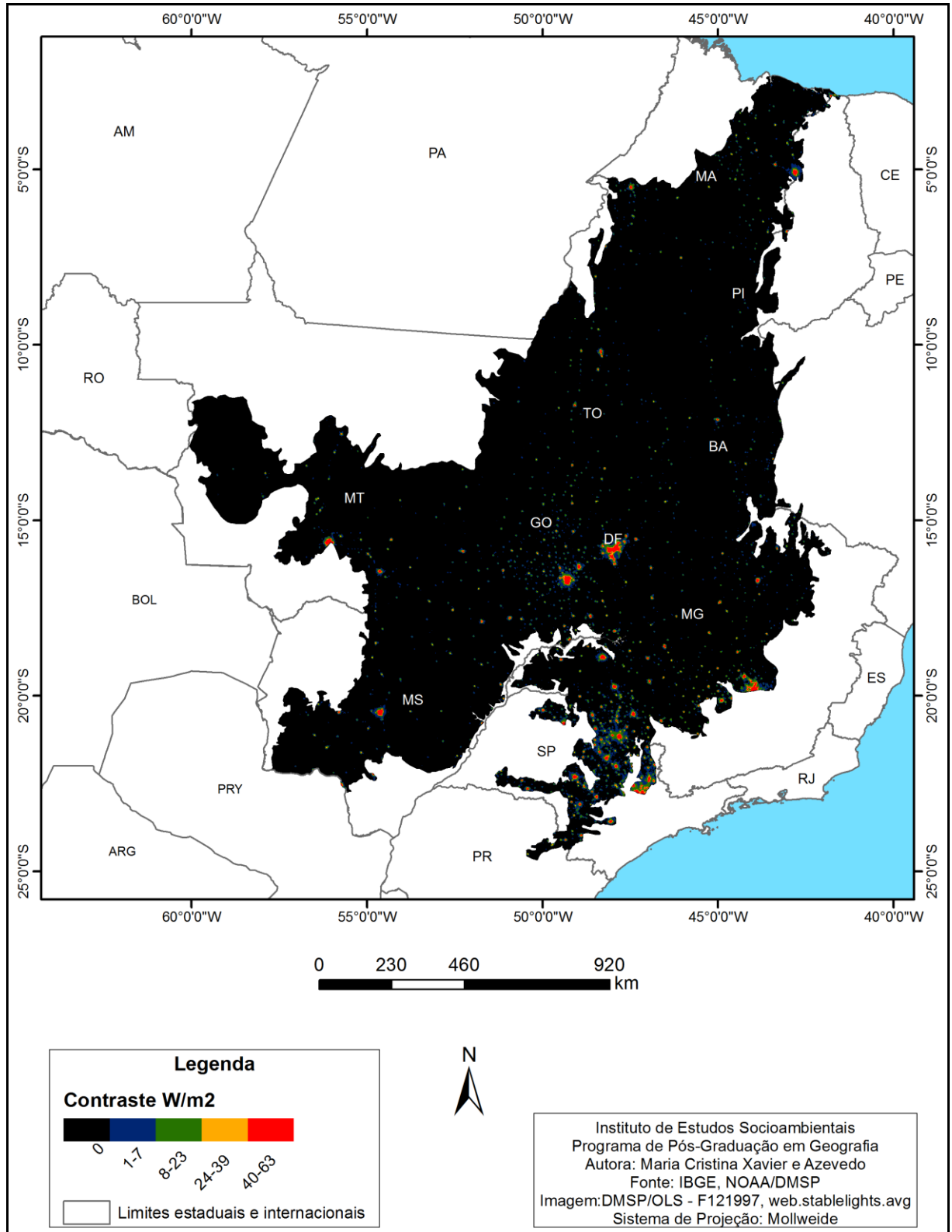


Figura 38 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1997.

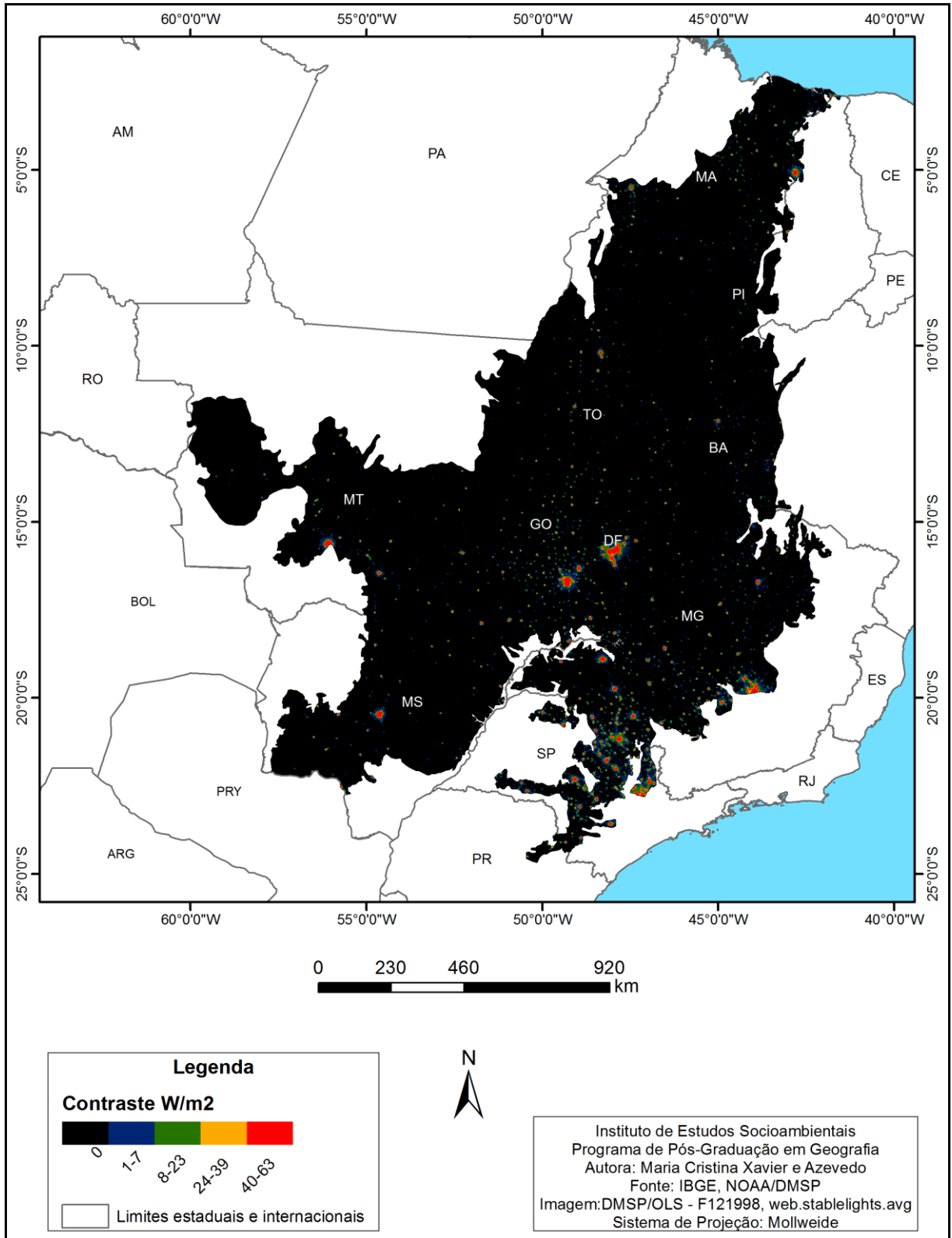


Figura 39 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1998.

Entre 1998 (Figura 39) e 1999 (Figura 40), na Região Sudeste, houve aumento da mancha luminosa na área consolidada de ocupação em São Paulo. Em Minas Gerais, as manchas luminosas dos municípios continuam em expansão com o surgimento de alguns micropontos de luz ao norte do Estado. Na Região Centro-Oeste, observou-se que, em Goiás, as manchas luminosas dos municípios também continuaram a se expandir e foram observados novos pontos de luz nas regiões norte e nordeste do Estado. Em Mato Grosso do Sul, verificou-se aumento da mancha luminosa dos municípios ao longo dos anos analisados e, em 1999, constatou-se acréscimo de aproximadamente dez novos pontos entre os limites de Goiás e Minas Gerais e, ao longo da BR-163, rodovia que liga o Estado de Mato Grosso do Sul ao Mato Grosso. No Mato Grosso, observou-se aumento da mancha luminosa nos municípios e o surgimento de treze novos pontos de luz pelo Estado.

No Norte, observou-se, no Tocantins, aumento da mancha luminosa dos municípios e surgiram em torno de dez novos pontos de luz pelo Estado. Já no Nordeste, no Estado do Maranhão, as manchas luminosas do entorno dos municípios aumentaram e, ao sul e no centro maranhense, surgiram novos pontos luminosos. No Piauí, despontaram cerca de seis novos pontos de luz, enquanto, na Bahia, surgiram mais de vinte micropontos no oeste.

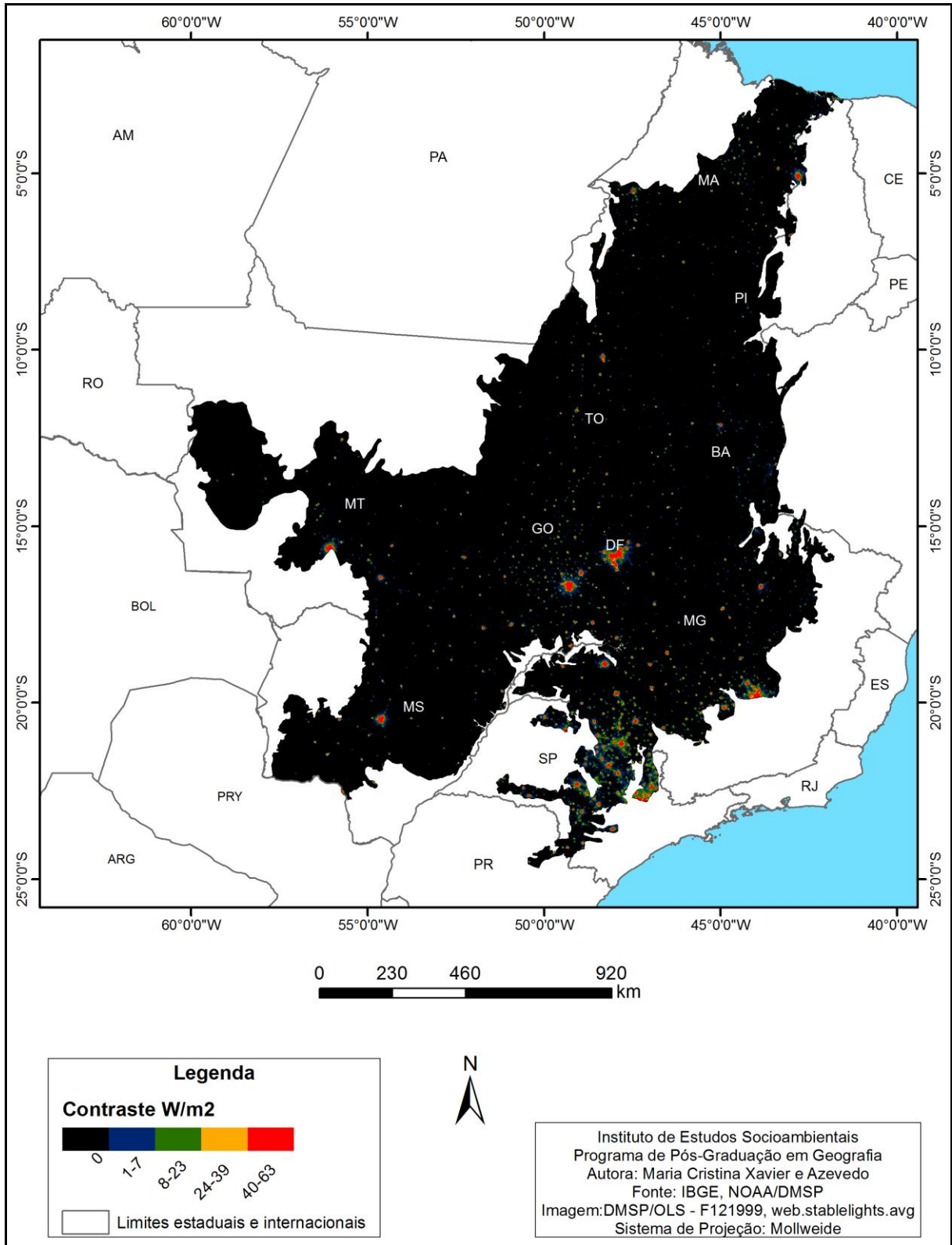


Figura 40 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 1999.

Comparando os mapas de 1999 (Figura 40) e 2000 (Figura 41), em São Paulo, verifica-se aumento das manchas de luz e surgimento de aproximadamente oito novos pontos. Em Minas Gerais, a área de mancha luminosa continuou em expansão e surgiram cerca de vinte novos pontos de luz pelo Estado. Em Goiás, as manchas luminosas nas principais cidades continuaram crescendo e podem ser observados, aproximadamente, quinze novos pontos de luz. No Tocantins, observando-se de norte a sul, podem ser vistos cerca de dez novos pontos de luz. No Maranhão, surgiram aproximadamente quinze novos pontos de luz localizados na região central e ao norte. No Piauí (Nordeste) e Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste) surgiram cerca de seis novos pontos de luz, enquanto, na Bahia e no Mato Grosso, emergiram aproximadamente vinte novos pontos.

Entre 2000 (Figura 41), 2001 (Figura 42) e 2002 (Figura 43), nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Goiás, observa-se aumento da área iluminadas; em Minas Gerais, continuaram surgindo novos pontos de luz em todo o Estado, assim como em Goiás. Neste, surgiram em torno de dez novos pontos. No Tocantins, constatou-se aumento da mancha luminosa dos municípios e surgiram, aproximadamente, oito novos pontos de luz, localizados ao norte e ao nordeste. No Maranhão, as manchas luminosas no entorno dos municípios continuaram aumentando e surgiram poucos pontos luminosos. No Piauí, não foram identificados novos pontos de luz, ocorrendo apenas aumento da mancha luminosa dos municípios. Na Bahia, surgiram cerca de treze novos pontos em toda a sua extensão, enquanto no Mato Grosso, nesse período, houve aumento de aproximadamente quinze novos pontos de luz em todo o Estado.

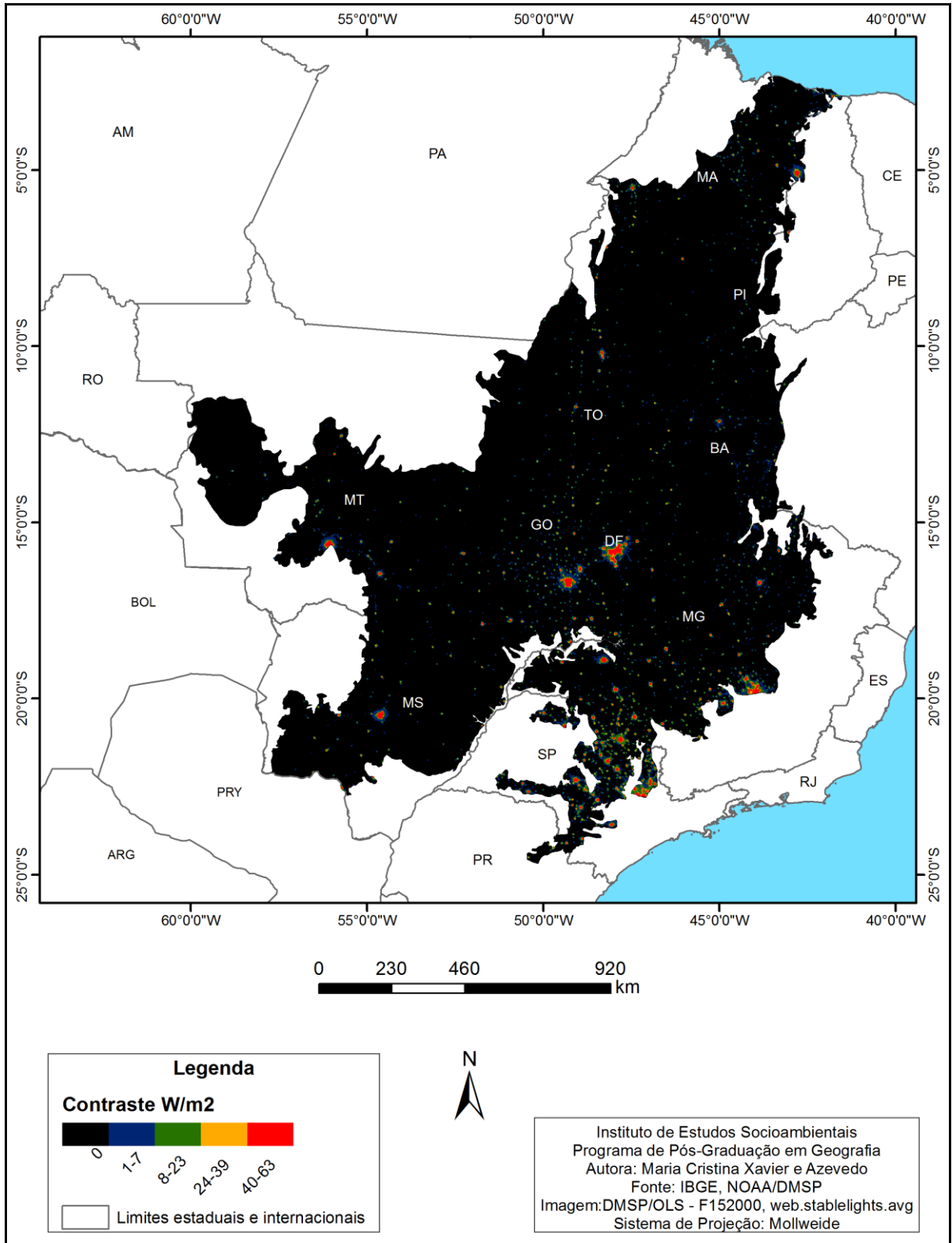


Figura 41 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2000.

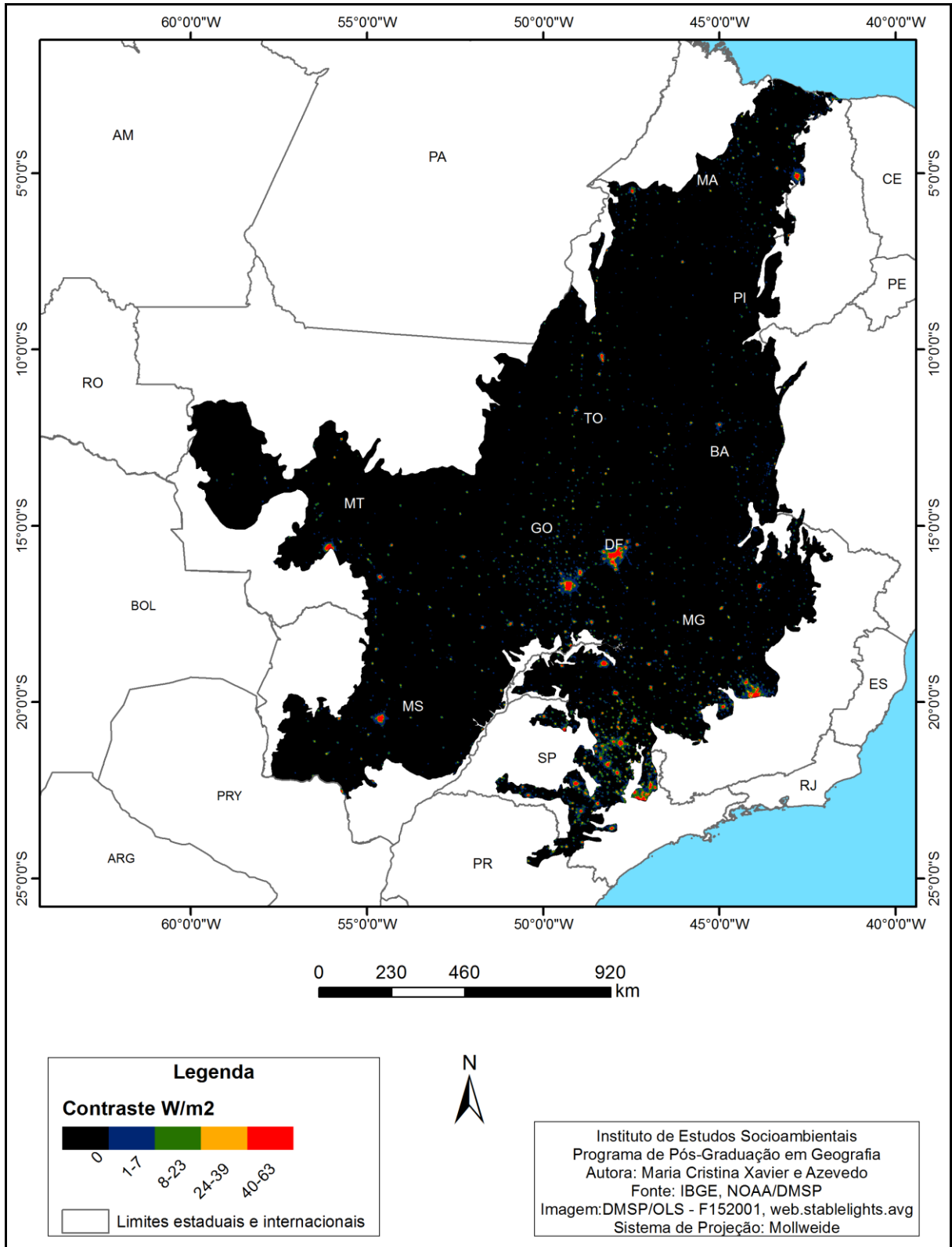


Figura 42 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2001.

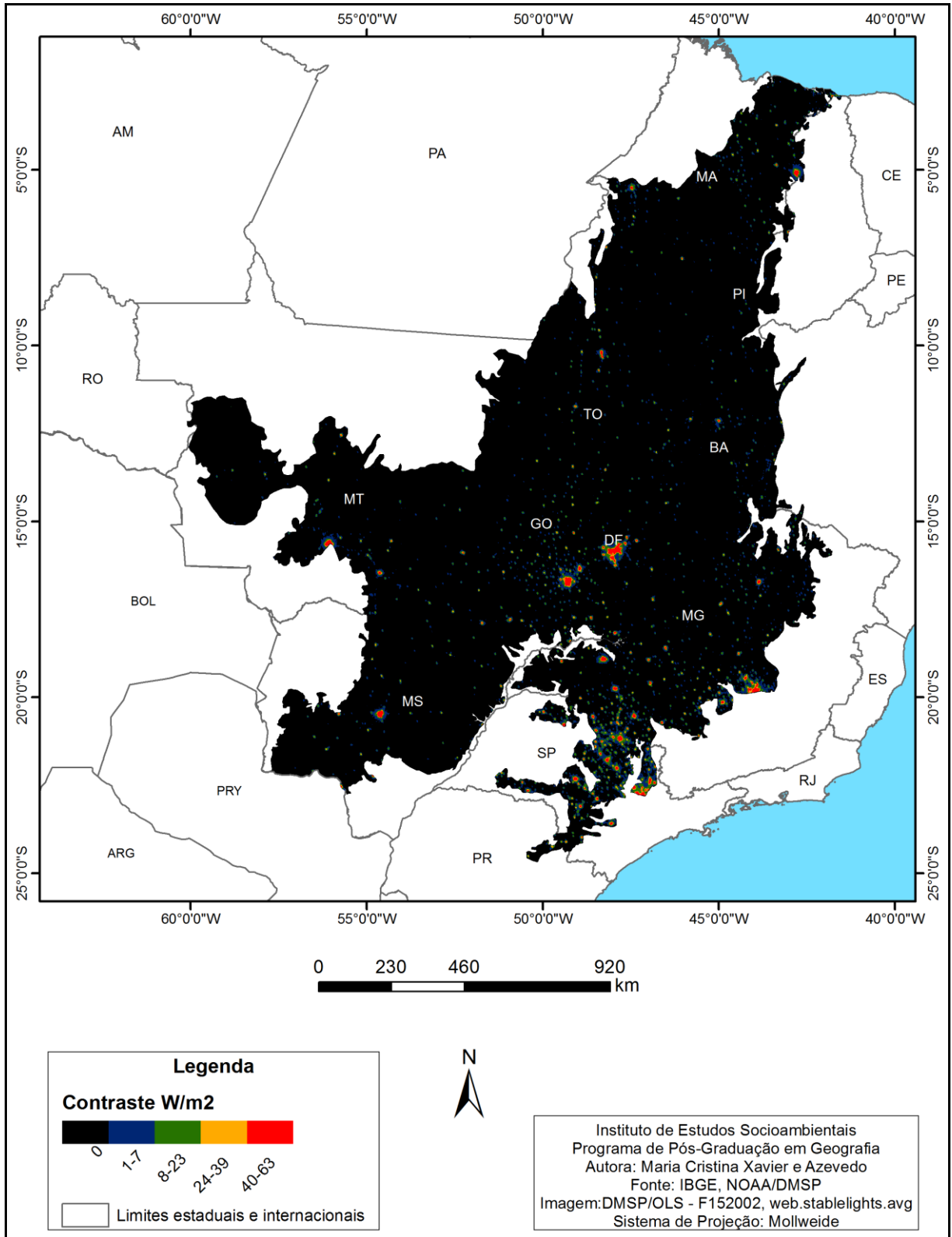


Figura 43 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2002.

Entre os anos 2002 (Figura 43), 2003 (Figura 44), 2004 (Figura 45) e 2005 (Figura 46), em São Paulo, Goiás e Minas Gerais, as áreas iluminadas dos municípios continuaram em expansão. Em Minas Gerais e Goiás, observa-se o aparecimento de aproximadamente treze novos pontos de luz pelo interior desses Estados. No Tocantins, observa-se o surgimento de alguns pontos luminosos nas direções noroeste e nordeste e, no Maranhão, novos pontos de luz surgiram nas regiões norte, centro e sul do Estado, totalizando cerca de dez pontos. No Piauí e no Mato Grosso do Sul, foram identificados dez novos pontos de luz no interior e, no Mato Grosso, foram localizados aproximadamente quinze novos pontos. Na Bahia, surgiram cerca de vinte novos pontos de luz.

Entre os anos 2005 (Figura 46) e 2006 (Figura 47), as manchas de luz em São Paulo, Minas Gerais e Goiás continuaram aumentando, sendo que, no interior de Minas Gerais e Goiás, surgiram entre dez e dezesseis novos pontos de luz, respectivamente. No Tocantins, apareceram em torno de dez novos pontos de luz e, no Estado do Maranhão, cerca de quinze. No Piauí e Bahia, respectivamente entre dez e quinze novos pontos luminosos, e, enquanto no Mato Grosso do Sul, observam-se apenas quatro novos pontos de luz, no Mato Grosso surgiram, aproximadamente, vinte pontos.

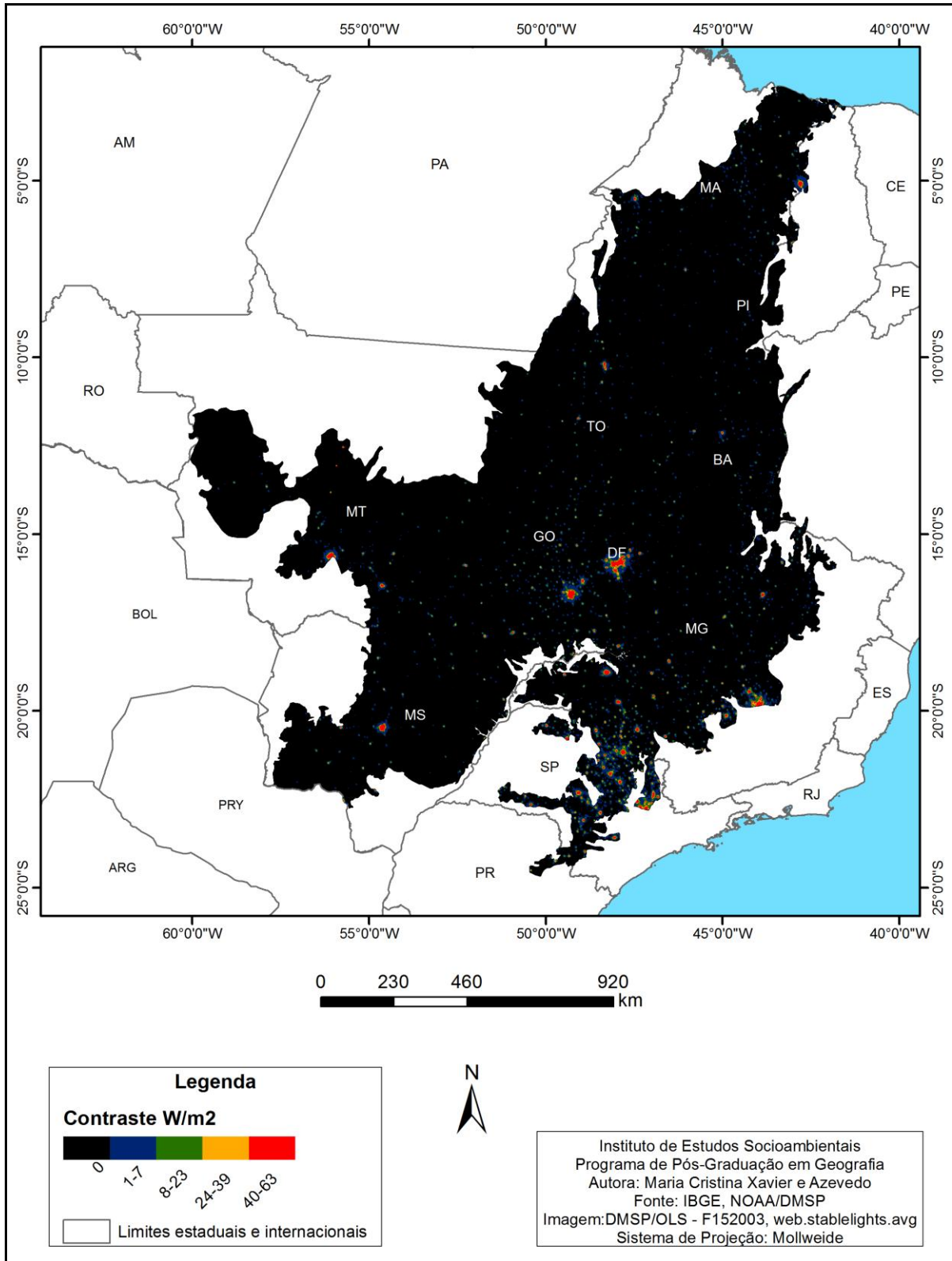


Figura 44 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2003.

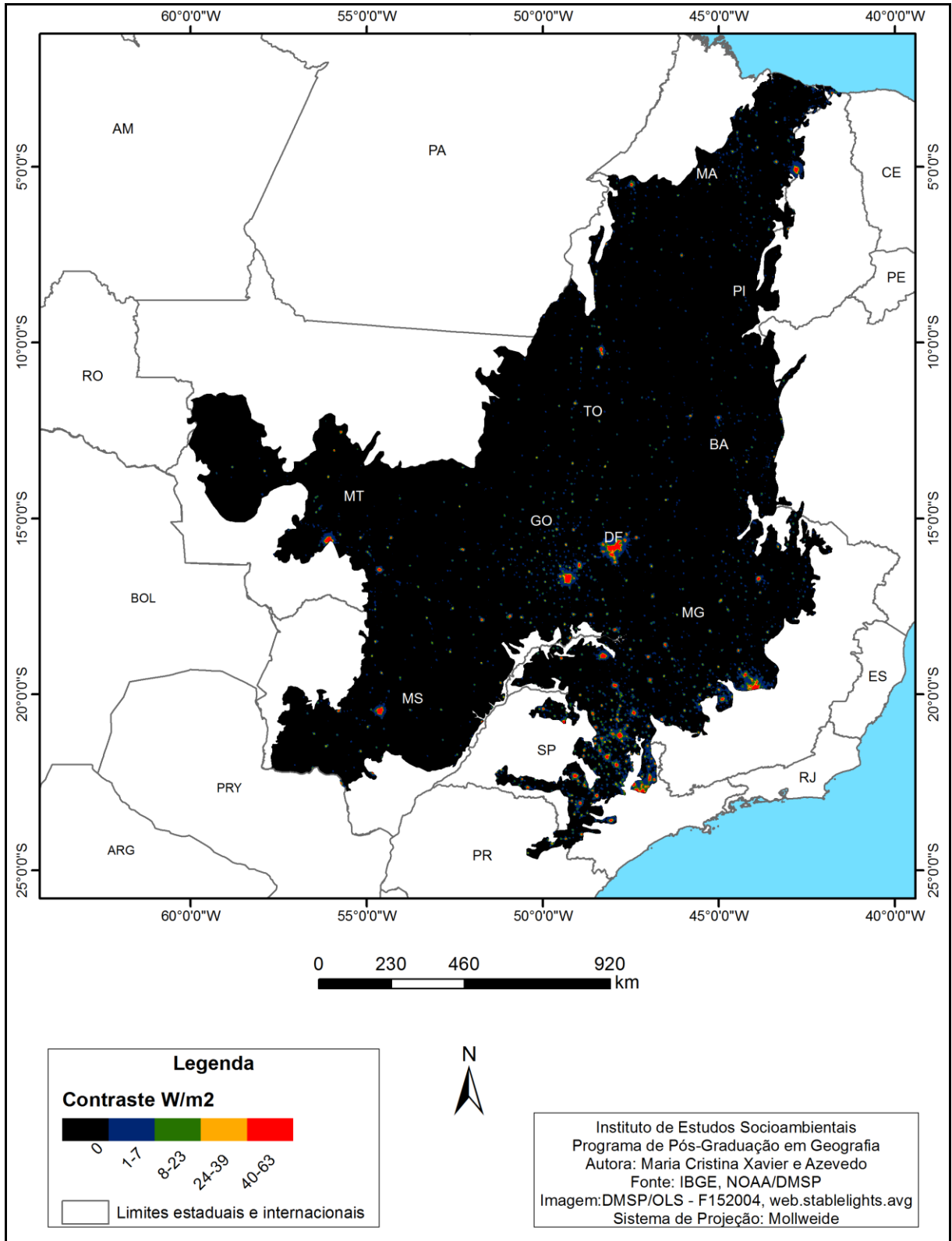


Figura 45 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2004.

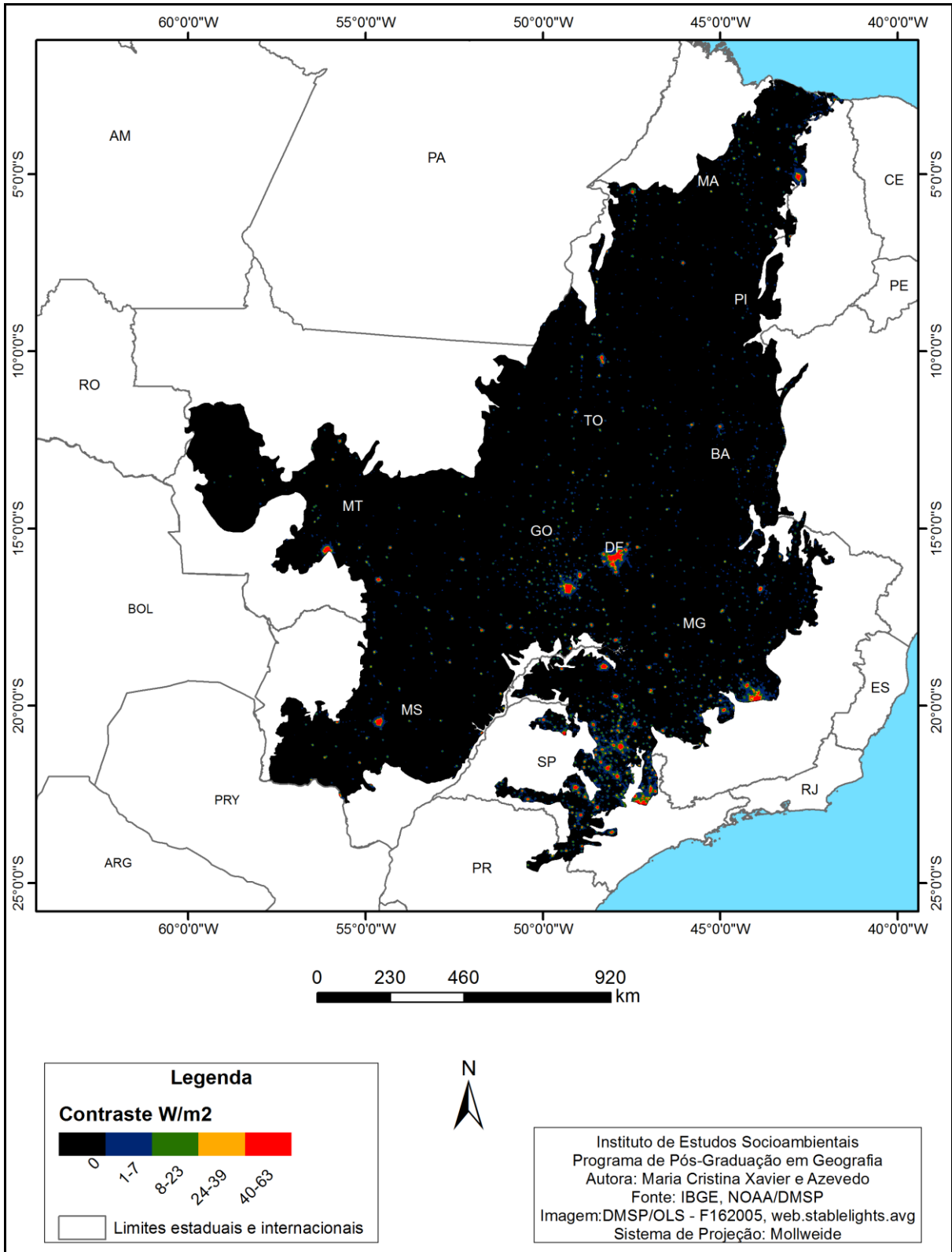


Figura 46 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2005.

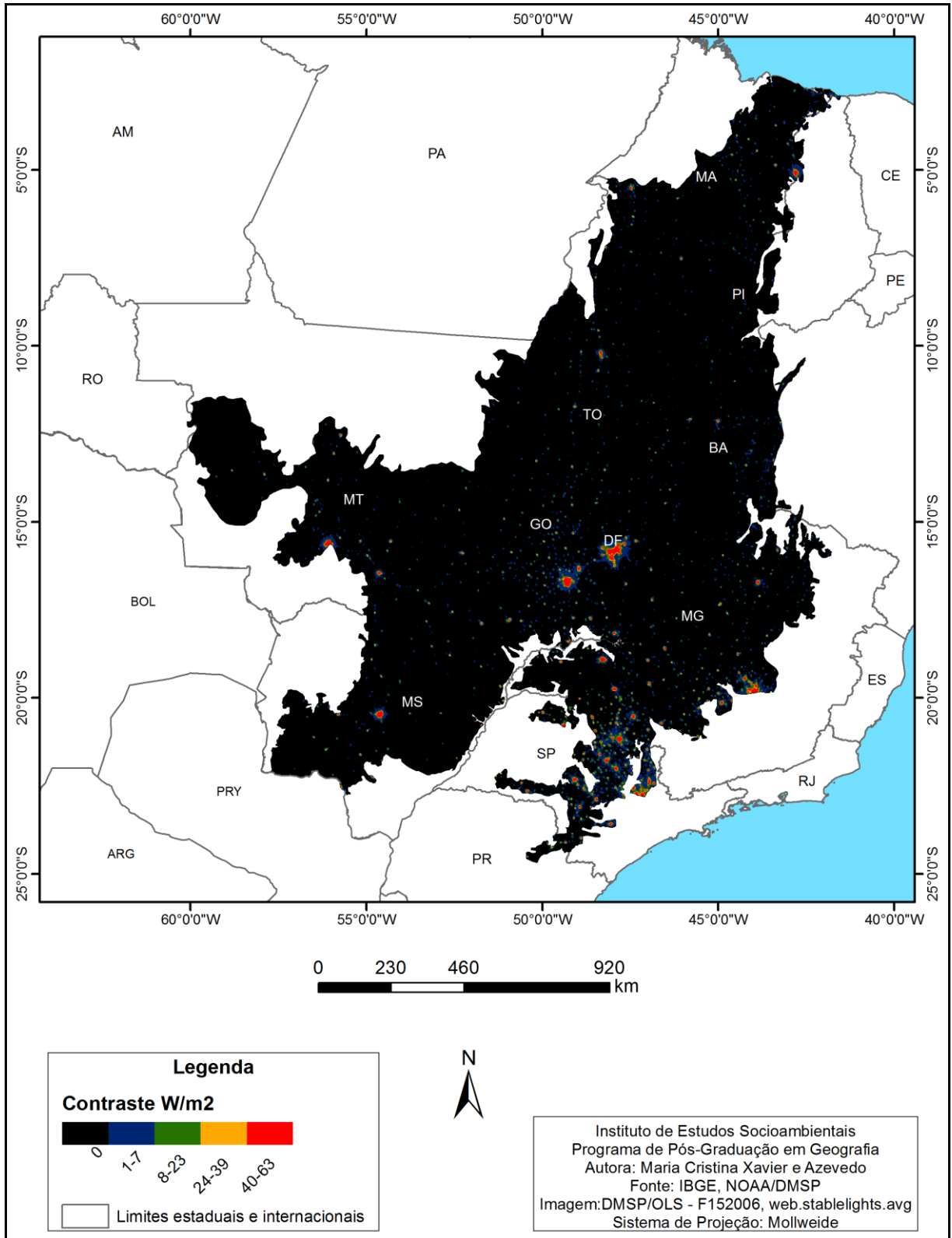


Figura 47 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2006.

Observando os mapas dos anos de 2006 (Figura 47), 2007 (Figura 48) e 2008 (Figura 49), percebe-se que, em todos os Estados que compõem o bioma Cerrado, a mancha luminosa nos municípios cresceu de um ano para outro e surgiram novos pontos de luz, sendo que em alguns Estados esse crescimento parece maior em consequência da expansão da fronteira agrícola. Nesse período, surgiram em torno de 25 novos pontos luminosos em Mato Grosso e, no Mato Grosso do Sul, apenas doze. Em Goiás e Minas Gerais, observam-se, aproximadamente, dezoito novos pontos de luz. No Piauí, surgiram por volta de sete novos pontos, enquanto, no Maranhão e no Tocantins, surgiram, respectivamente, dez e quinze novos pontos luminosos.

Entre os anos 2008 (Figura 49) e 2009 (Figura 50), nota-se aumento da mancha luminosa em todos os municípios que fazem parte do bioma Cerrado e o surgimento pontual de micropontos de luz em quase todos os Estados. No Maranhão, surgiram por volta de vinte novos pontos de luz; no Tocantins, apenas dez; na Bahia, quinze; e, em Goiás e Tocantins, cerca de doze novos pontos.

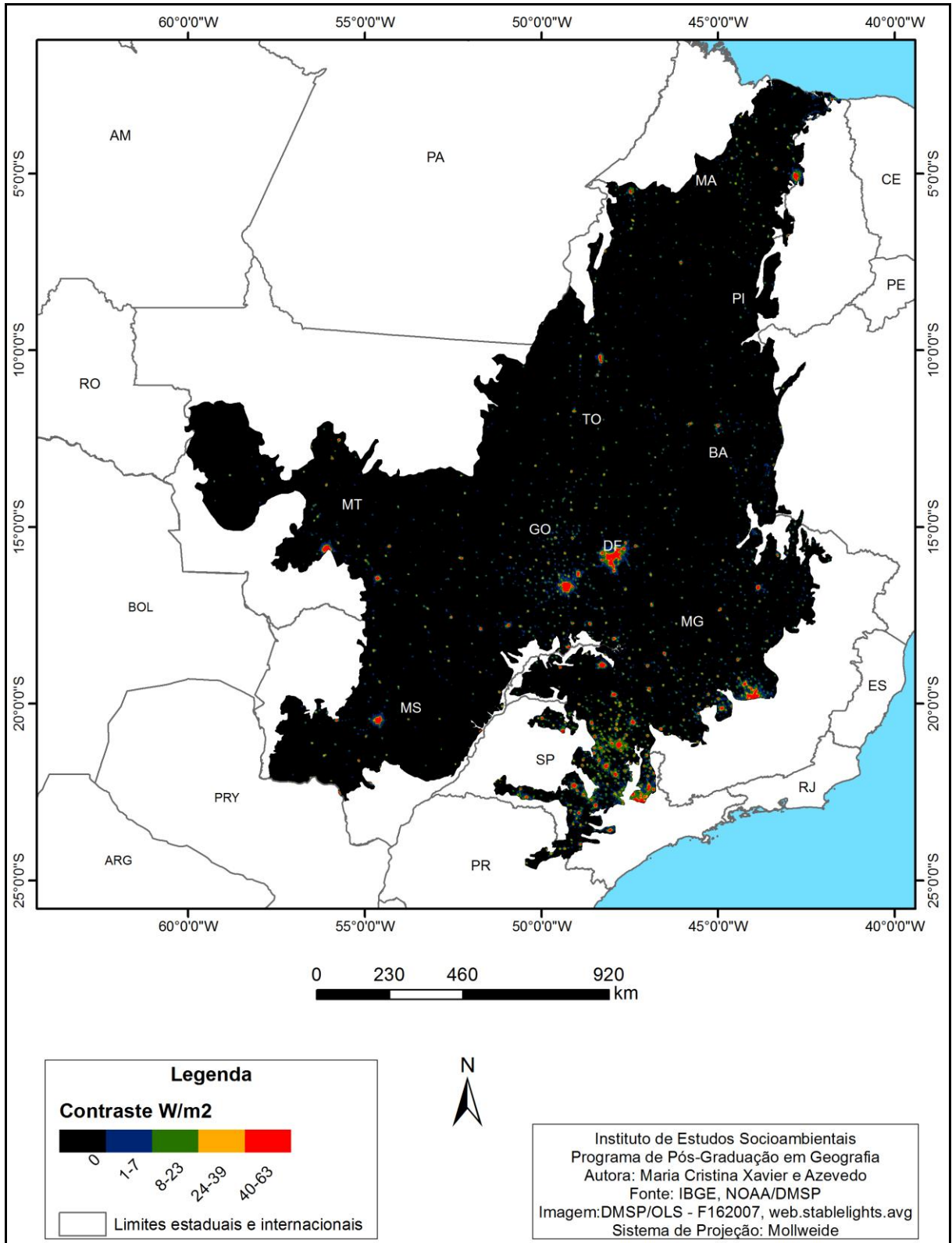


Figura 48 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2007.

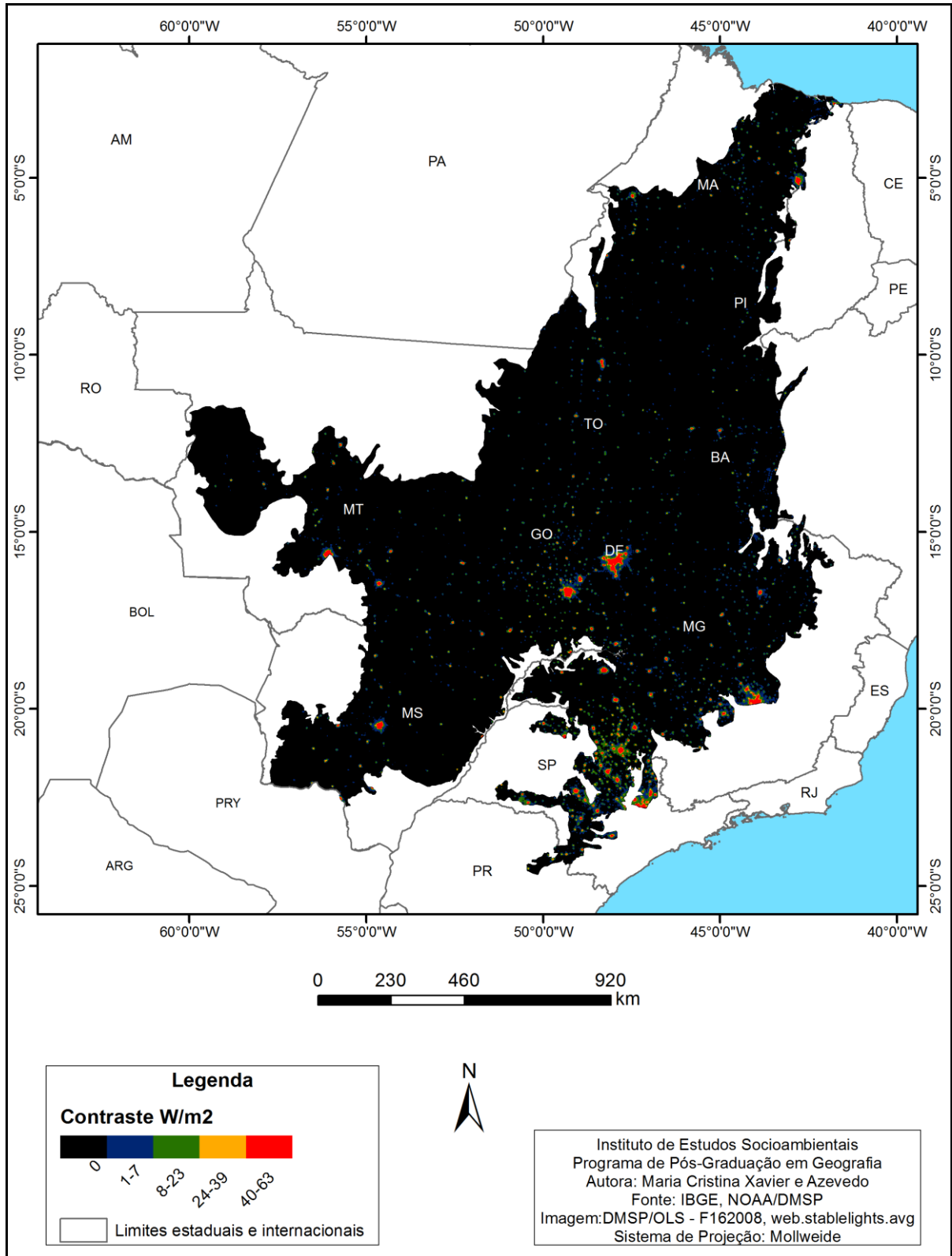


Figura 49 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2008.

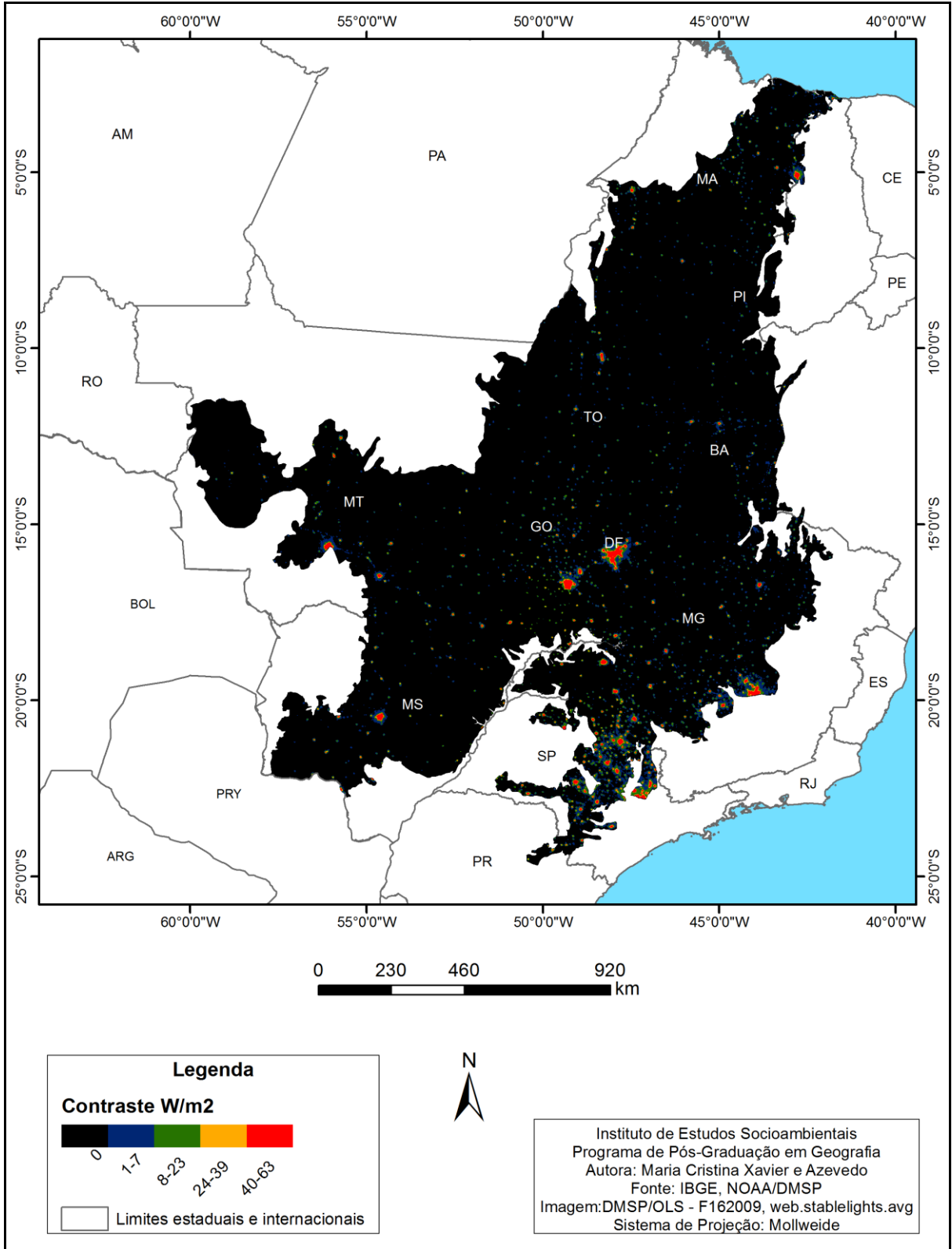


Figura 50 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2009.

Entre os anos 2009 (Figura 50) e 2010 (Figura 51), observa-se expansão da mancha luminosa sobre os todos os municípios do bioma, entretanto, é mais visível o aumento sobre as principais cidades dos Estados e no Distrito Federal. Assim como nos anos anteriores, ocorreu o surgimento de pontos e micropontos luminosos em todos os Estados.

No Maranhão, verificou-se aumento de cerca de vinte novos pontos, localizados nas porções sudeste, sul, central e norte do Estado. No Tocantins, houve aumento de sete novos pontos, localizados do sul ao nordeste do Estado. No sul do Piauí, foram identificados cinco novos pontos de luz e, em toda a extensão do bioma no limite baiano, foram quantificados 25 novos pontos de iluminação. Nos Estados de Minas Gerais e Goiás surgiram aproximadamente 30 novos pontos de luz em cada um. No primeiro, os pontos localizavam-se desde a porção sudoeste até o norte do Estado. Em Goiás, estavam localizados em todo o Estado, mas principalmente nas porções sudoeste, sul e sudeste. No Mato Grosso do Sul, foram identificados doze novos pontos, distribuídos em todo o território, mas concentrados na rodovia que liga o Estado de Mato Grosso do Sul a Mato Grosso. Por fim, em Mato Grosso, identificaram-se cerca de 40 novos micropontos de luz que podem ser vistos em todo o limite mato-grossense, em especial nas porções norte, centro e sul do município de Cuiabá.

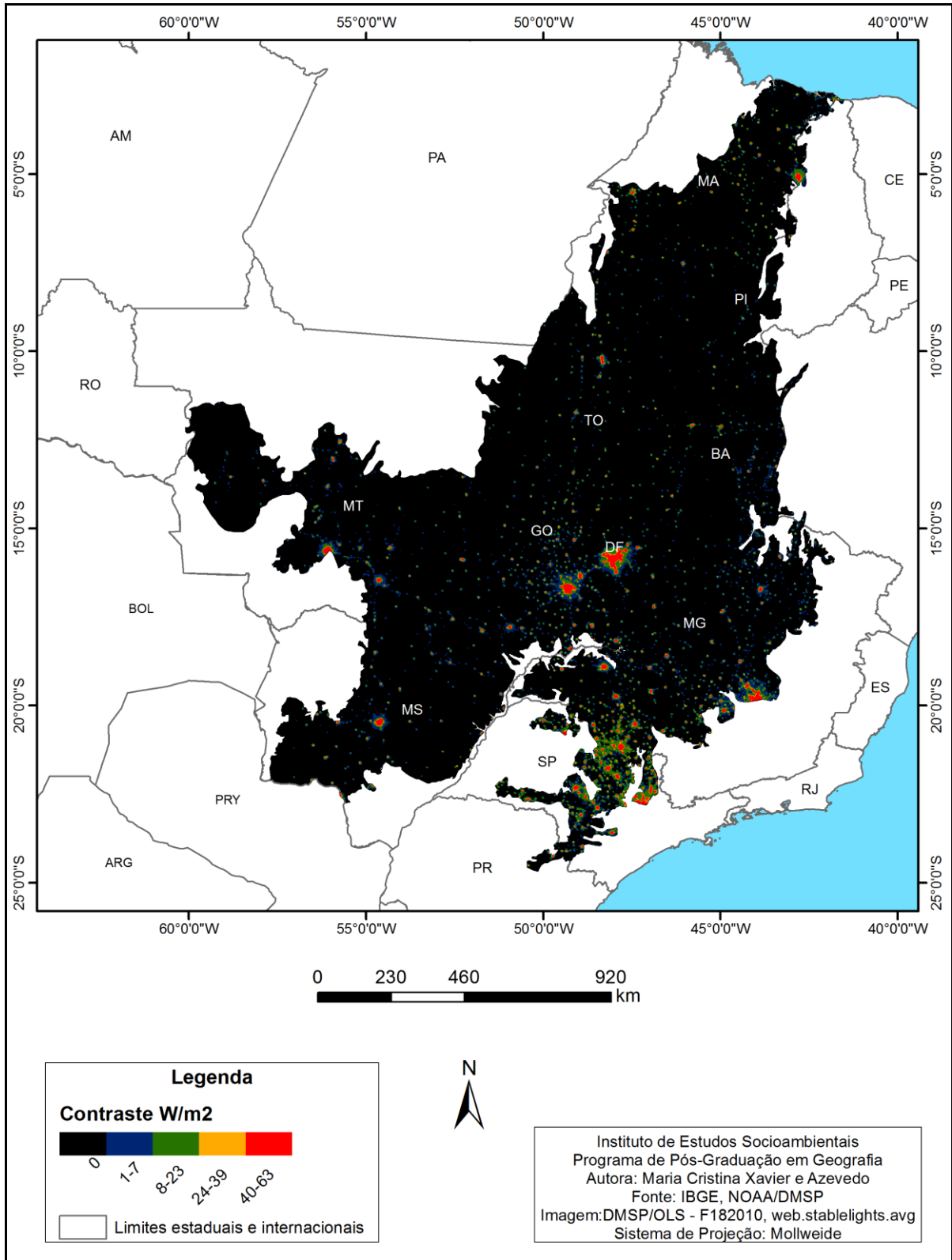


Figura 51 – Mapa de Poluição Luminosa do bioma Cerrado – 2010.

Comparando os mapas dos anos de 1992 (Figura 33) e de 2010 (Figura 51), é possível identificar as direções do crescimento da poluição luminosa não apenas pelas manchas de luz que podem ser vistas, seja nas metrópoles, seja ao redor das capitais regionais, como também pelos inúmeros novos pontos de luz ou micropontos que surgiram ao longo desses dezoito anos analisados.

O crescimento da poluição provocada pela iluminação artificial no bioma parece ir ao encontro das linhas de expansão da fronteira agrícola, considerando que uma delas se inicia no oeste da Bahia, passando pelo sudoeste do Piauí até atingir o sul do Maranhão, enquanto a outra frente estende-se do sudeste de Mato Grosso até o leste de Mato Grosso do Sul (MUELLER; MARTHA JÚNIOR, 2008; ROCHA et al., 2010).

No Mato Grosso, observa-se o crescimento dessa poluição em todas as direções, com destaque para a região noroeste e, sobretudo, ao longo da rodovia que liga Cuiabá a Santarém, no Estado do Pará. Em Mato Grosso do Sul, esse crescimento dá-se, principalmente, ao longo da rodovia que liga o Estado a Rondonópolis, no Mato Grosso, e nos municípios localizados a leste, que fazem divisa com o Estado de Goiás.

Nas regiões Norte e Nordeste, a expansão da poluição luminosa ocorre, principalmente, nas cidades onde existem maiores concentrações populacionais, mas, pelos mapas, observa-se que o crescimento, no Tocantins e no Maranhão, acontece ao longo dos dois Estados, existindo certa tendência ao surgimento de novos pontos luminosos nas porções norte e sul de cada um deles. No Piauí, nota-se o surgimento de novos pontos de luz no sudoeste, enquanto, na Bahia, isso é observado em toda sua extensão territorial, mas com predomínio na região oeste. De acordo com Miranda (2012), embora os Estados do Maranhão, Piauí e Bahia apresentem áreas com pouca densidade demográfica e econômica, a Bahia possui a maior concentração da população urbana e, no Piauí e no Maranhão, existe tendência à dispersão territorial da população em municípios de até 20 mil habitantes, o que, em parte, explica a ocorrência da expansão da fronteira agrícola nesses Estados.

São Paulo é um dos Estados mais fortemente urbanizados e de adensamento populacional consolidado do bioma. Observando-se o mapa referente a 2010, nota-se, em relação ao de 1992, o aumento da mancha luminosa e o surgimento de novos pontos de luz, cuja tendência de crescimento é em direção ao norte (sentido Estado de Minas Gerais) e a oeste (em encontro com o Estado do Mato Grosso do Sul). Assim como São Paulo, Minas Gerais apresenta áreas urbanas e de ocupação consolidadas. Constata-se que a poluição luminosa é maior sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte e sobre os demais

municípios que estão localizados ao centro-sul e a sudeste da capital. Novos pontos luminosos podem ser observados nesse Estado, sobretudo a noroeste e a norte.

Em Goiás, assim como nos demais Estados, a poluição luminosa está concentrada nas cidades mais importantes economicamente. É possível observar, por exemplo, que a mancha de poluição luminosa da Região Metropolitana de Goiânia praticamente interliga-se à mancha de luz de Brasília. Como por Goiânia passam os principais trechos rodoviários, é possível ver também o desenvolvimento das cidades que se estabeleceram no norte do Estado ao longo da BR-153, ou ainda a ligação da capital com os municípios do sudoeste, sul e sudeste goiano pelas rodovias estaduais.

Partindo dos dados apresentados, pode-se inferir que as formações das manchas de poluição luminosa estão concentradas sobre as metrópoles e sobre os principais centros urbanos regionais em decorrência da maior concentração urbana.

3.5 CRESCIMENTO DA POLUIÇÃO LUMINOSA

Para a análise do aumento da poluição luminosa no bioma Cerrado, inicialmente procurou-se determinar a área de luz. No ambiente do *software ArcGIS* (versão 10) utilizou-se a opção *Calculate Geometry*, disponível na ferramenta *Open Attribute Table*. Os dados foram calculados em quilômetro quadrado (km²) e, para a compilação e a tabulação desses dados, utilizou-se o programa de planilha eletrônica - *Microsoft Office Excel* (versão 2007).

Nas informações referentes às luzes da área do Cerrado, de 1992 a 2010, observa-se na Tabela 3 que alguns anos apresentam valores de áreas luminosas mais baixas em relação ao ano anterior. Isso se deve ao fato de que os dados do sistema sensor DMSP-OLS não são fidedignos à realidade por se tratarem de dados de sensoriamento remoto.

Tabela 3 – Valores anuais de áreas luminosas – km²

Anos	Área (km ²)
1992	47.954,18
1993	77.864,56
1994	77.548,74
1995	89.986,96
1996	91.056,68
1997	85.967,80
1998	95.841,10
1999	96.736,95
2000	99.682,76
2001	90.268,16
2002	103.019,51
2003	96.049,65
2004	97.264,64
2005	103.424,11
2006	106.172,15
2007	100.756,09
2008	109.182,43
2009	110.066,12
2010	134.327,33

Fonte: NOAA/DMSP
Org.: Azevedo, M. C. X. (2013).

Na Figura 52, apresenta-se o gráfico da área total de luzes no bioma Cerrado correspondente aos anos da Tabela 3.

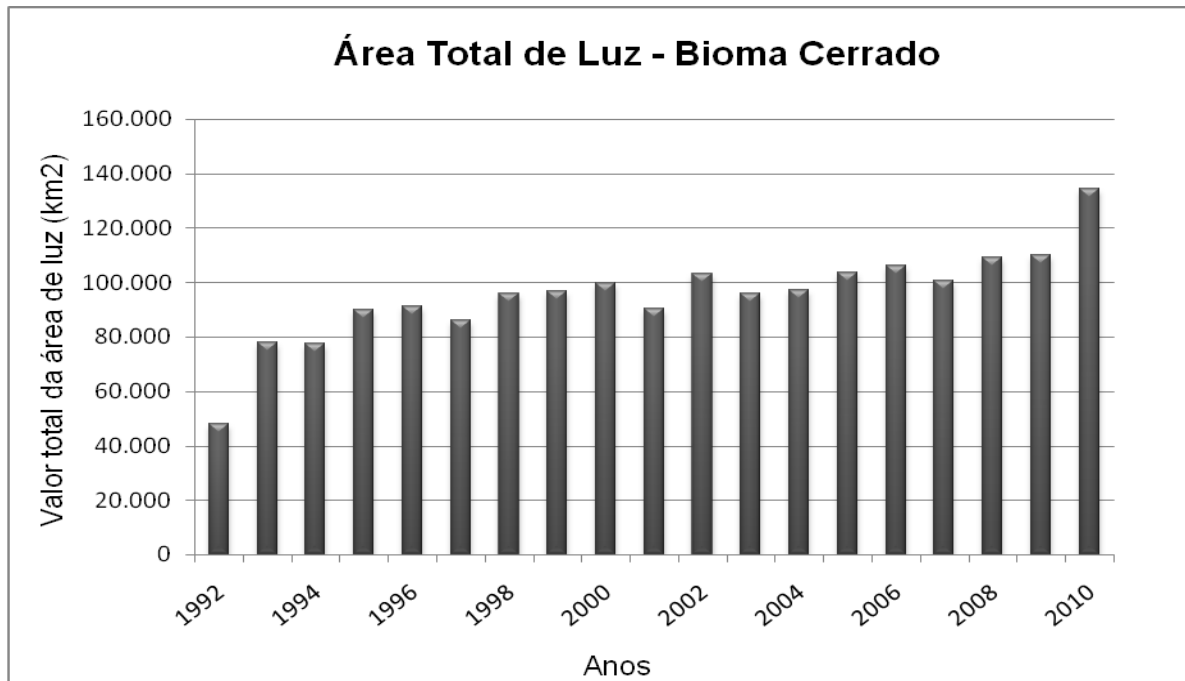


Figura 52 – Representação dos valores anuais da área de luzes no bioma Cerrado.
Org.: Azevedo, M. C. X. (2013).

Nota-se que, ao longo dos anos considerados, ocorreu o aumento da área iluminada. A ampliação dessa área, em parte, é explicada com base no aumento demográfico registrado nos dados censitários do IBGE. Conforme esses dados, entre os anos 2000 e 2010, a população total passou de 37.294.511 para 42.758.697 habitantes; como a tendência é de crescimento, consequentemente, a demanda por energia elétrica tenderá a acompanhar esse crescimento populacional. De acordo com os dados do Plano Nacional de Energia para 2030 (PNE – 2030), o aumento do consumo de eletricidade é explicado pelo aumento no número de vendas de equipamentos eletrodomésticos adquiridos pelos usuários como reflexo da melhoria da renda do trabalhador brasileiro; pelo crescimento do setor terciário ou de serviços na economia; e também pelo aumento do número de participações de indústrias que empregam maior valor agregado no Brasil (por exemplo, televisor, automóvel, chip de computador, etc.). Esse aumento da área de luz ocorrerá tanto no meio rural quanto urbano, mas com mais representatividade nas áreas urbanas, por concentrarem uma quantidade maior da população.

Como pouco se discute sobre poluição luminosa no Brasil, a expansão da área iluminada sobre o Cerrado deverá continuar ocorrendo sem um planejamento adequado para mitigar os impactos causados por esse tipo de poluição sobre o ambiente.

3.6 POLUIÇÃO LUMINOSA NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA

Em 25 de março de 2010, foi aprovada a Lei Complementar Estadual nº 78 que alterou a Lei Complementar nº 27, de 30 de dezembro de 1999, para criação da Região Metropolitana de Goiânia - RMG, conhecida como a Grande Goiânia, que passou a ser composta pelos municípios de Goiânia, Abadia de Goiás, Aparecida de Goiânia, Aragoiânia, Bela Vista de Goiás, Bonfinópolis, Brazabrantes, Caldazinha, Caturai, Goianápolis, Goianira, Guapó, Hidrolândia, Inhumas, Nerópolis, Nova Veneza, Santo Antônio de Goiás, Senador Canedo, Terezópolis de Goiás e Trindade (Figura 53). Totaliza-se, portanto, vinte municípios, que ocupam 7.397,203 km², correspondentes a 2,17% do território goiano. De acordo com o censo de 2010, a Região apresentava 2.173.141 habitantes, o que representa 36,19% da população do Estado.

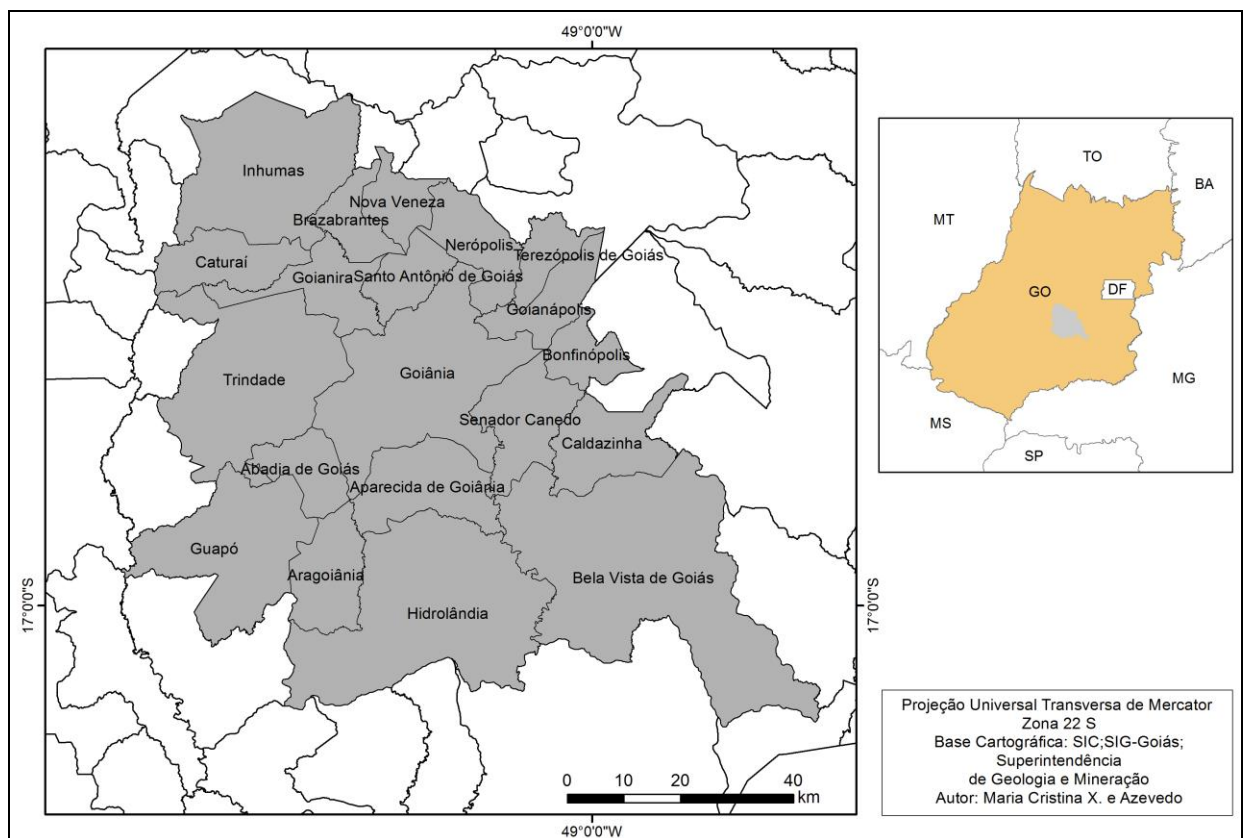


Figura 53 - Mapa de localização da Região Metropolitana de Goiânia – 2010.

Composta por inúmeros estabelecimentos industriais e por um diversificado comércio varejista, a RMG há tempos deixou de ser determinada pelo padrão de uso de solo destinado apenas à agropecuária (ARRAIS, 2002). Contudo, existem ainda alguns municípios que se

destacam economicamente por determinados produtos, como o tomate, em Goianópolis e a jabuticaba, em Hidrolândia.

O crescimento da população da Região Metropolitana ocorre devido ao poder de atração que Goiânia exerce na geração de ofertas e possibilidades de trabalhos e ganhos nos setores formais e informais da economia. Por essas características, a RMG continua atraindo um considerável fluxo de migrantes que estão em busca de melhores oportunidades de vida, vindos principalmente de Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Pará e Piauí (RIBEIRO, 2004).

A densidade populacional da RMG é de 297,07 habitantes por quilômetro quadrado, enquanto a estadual é de 17,42. Os municípios com maior taxa geométrica de crescimento anual, no período de 2000 a 2010, segundo dados censitários de 2010, foram Goianira, com 6,17%; Senador Canedo, com 4,75%; Santo Antônio de Goiás, com 4,24% e Bonfinópolis, com 3,48%. Dentre os municípios com maior crescimento da população, de acordo com o censo de 2010, destaca-se Aparecida de Goiânia, que apresentou um crescimento de 3,08%. Os municípios com as menores taxas são Guapó, com 0,08%, e Goianópolis, com 0,02%, enquanto Goiânia cresceu 1,77% (IBGE, 2010). A cidade mais populosa da região é a capital, Goiânia, que possui, segundo o censo de 2010, 1.302.001 habitantes, representando 21,69% da população do Estado. O segundo município mais populoso é Aparecida de Goiânia, com 455.657 habitantes, como pode ser verificado na Tabela 4, na qual constam os dados censitários dos anos de 2000 e 2010 para comparação.

Tabela 4 - Dados censitários de 2000 e 2010 da Região Metropolitana de Goiânia

Municípios da RMG	Censo 2000	Censo 2010
Abadia de Goiás	4.971	6.876
Aparecida de Goiânia	336.392	455.657
Aragoiânia	6.424	8.365
Bela Vista de Goiás	19.210	24.554
Bonfinópolis	5.353	7.536
Brazabrantes	2.772	3.232
Caldazinha	2.859	3.325
Caturai	4.330	4.686
Goianópolis	10.671	10.695
Goiânia	1.093.007	1.302.001
Goianira	18.719	34.060
Guapó	13.863	13.976
Hidrolândia	13.086	17.398
Inhumas	43.897	48.246
Nerópolis	18.578	24.210
Nova Veneza	6.414	8.129
Santo Antônio de Goiás	3.106	4.703
Senador Canedo	53.105	84.443
Terezópolis de Goiás	5.083	6.561
Trindade	81.457	104.488
Total	1.743.297	2.173.141

Fonte: IBGE

Conforme verifica-se na Tabela 5, a RMG registrou aumento da população nos municípios vizinhos e diminuição do ritmo de crescimento da capital. Por outro lado, embora tenha ocorrido essa subtração da população residente, as cidades do entorno ainda são dependentes de Goiânia, a qual polariza a vida dos habitantes desse aglomerado por apresentar melhores condições de infraestrutura, como rede de transporte e de saneamento básico mais eficiente, uma estrutura hospitalar mais equipada e por concentrar uma diversidade maior de opções de trabalho e de entretenimentos (ARRAIS, 2004).

Somado ao crescimento demográfico, é possível observar, por meio de imagens de satélites do sensor DMSP-OLS sobre a RMG, assim como em várias localidades dentro do limite do bioma Cerrado, que o céu noturno está poluído por uma nova forma de poluição, denominada luminosa.

Nos mapas correspondentes aos anos de 1999 (Figura 54), 2000 (Figura 55), 2001 (Figura 56), 2002 (Figura 57), 2003 (Figura 58), 2004 (Figura 59), 2005 (Figura 60), 2006 (Figura 61), 2007 (Figura 62), 2008 (Figura 63), 2009 (Figura 64) e 2010 (Figura 65), é possível acompanhar a expansão da poluição luminosa sobre a Região Metropolitana e indicar

quais são as direções de crescimento desta. Verifica-se também que Goiânia é a principal precursora da poluição luminosa, enquanto, nos outros municípios, a poluição ocorre com menor intensidade.

Entre os mapas correspondentes aos anos de 1999 (Figura 54) e de 2000 (Figura 55), observa-se que os municípios de Bela Vista de Goiás (45 km), Nova Veneza (33 km), Guapó (24 km) e Caturai (27 km) não estão envoltos pela poluição de luzes artificiais emitidas pelo núcleo urbano de Goiânia, mas apresentam sua própria poluição luminosa. Outro destaque é o município de Inhumas, envolto pela mancha luminosa de Goiânia, mas apresentando sua própria mancha de luz que vai ao encontro à de Goianira.

Nos municípios localizados a leste/oeste de Goiânia, “ligados” pela Avenida Anhanguera, são perceptíveis os núcleos de poluição luminosa de Senador Canedo e Trindade, dois municípios que estão em processo de conurbação. Ao sul, em Aparecida de Goiânia, cidade conurbada com Goiânia, a mancha luminosa está completamente ligada à de Goiânia.

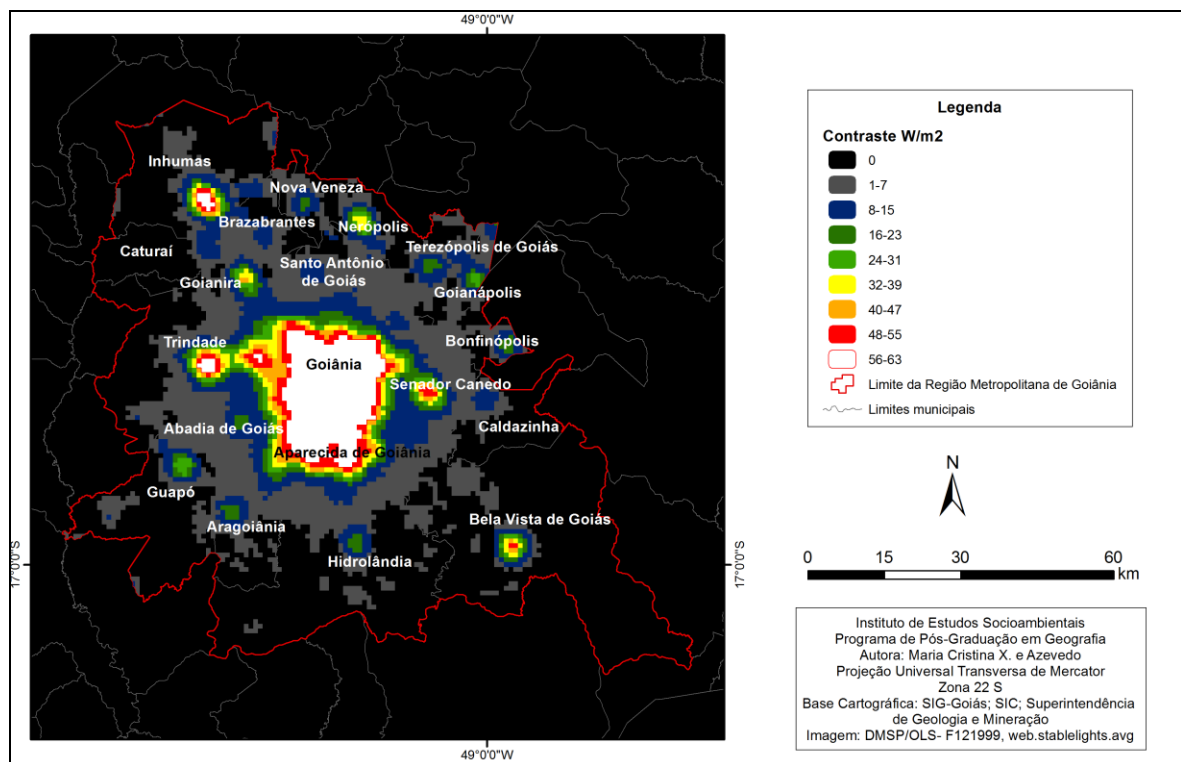


Figura 54 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 1999.

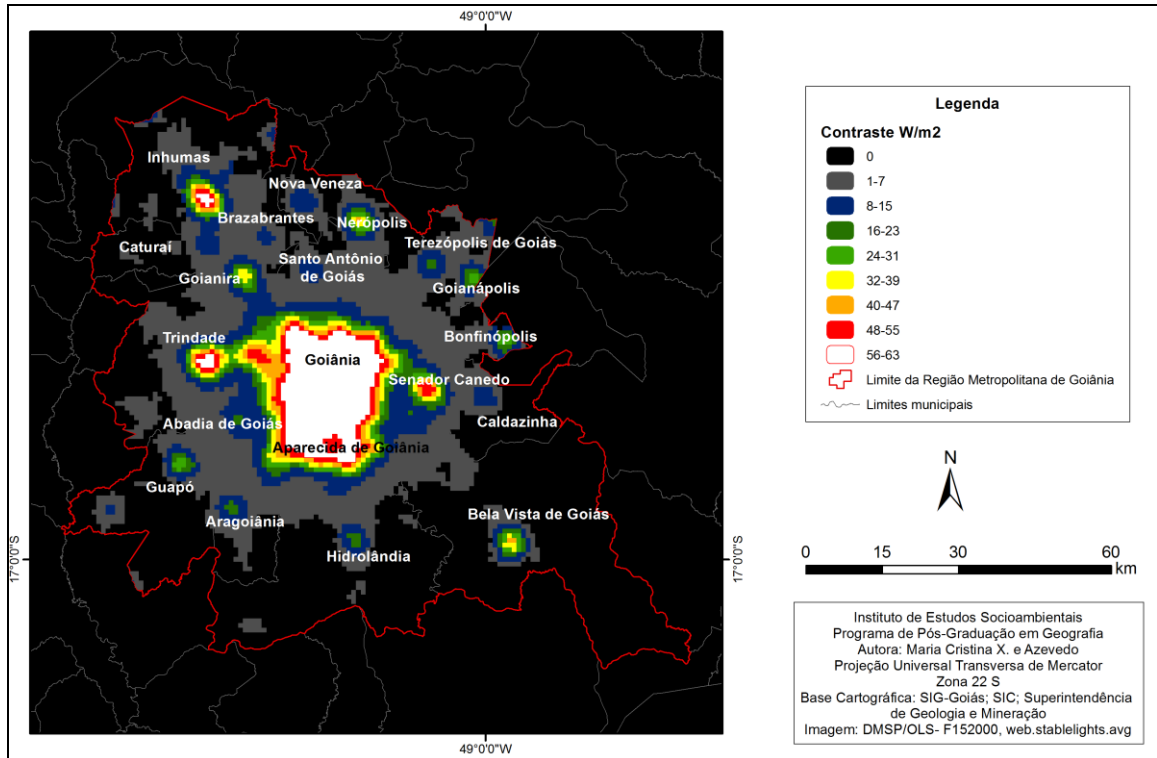


Figura 55 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2000

Entre os anos de 2001 (Figura 56), 2002 (Figura 57), 2003 (Figura 58), 2004 (Figura 59) e de 2005 (Figura 60) verifica-se uma retração da área iluminada em relação ao ano de 2000. Entretanto, Goiânia continua sendo o indutor desse tipo de poluição que envolve vários municípios, como pode ser observado pela dimensão da mancha luminosa.

Comparando os anos de 2005 (Figura 60) e de 2006 (Figura 61), observa-se o aumento da poluição luminosa sobre a Região Metropolitana emitida do núcleo urbano de Goiânia e a união dessa mancha luminosa ao município de Bela Vista, a sudeste.

Entre os anos de 2006 (Figura 61), 2007 (Figura 62) e de 2008 (Figura 63), nota-se, por meio do mapa de poluição luminosa, que a Região Metropolitana cresceu em todas as direções (norte, sul, leste, oeste), mas com predomínio para as regiões noroeste (Goianira), sudoeste (Abadia de Goiás), leste (Bonfinópolis) e nordeste (em sentido ao município de Anápolis).

Entre os anos de 2008 (Figura 63) e de 2009 (Figura 64), observa-se certa redução da área de poluição luminosa sobre a região da Grande Goiânia; no entanto, nota-se que os municípios de Abadia de Goiás e Goianira estão mais envolvidos pelo nível de poluição emitido pela capital.

Na comparação entre os anos de 2009 (Figura 64) e de 2010 (Figura 65), nota-se a expansão da poluição luminosa sobre a Região Metropolitana e a consolidação dos

municípios de Bela Vista de Goiás, Nerópolis e Inhumas como novas regiões “produtoras” de poluição luminosa, em consequência do crescimento populacional registrado.

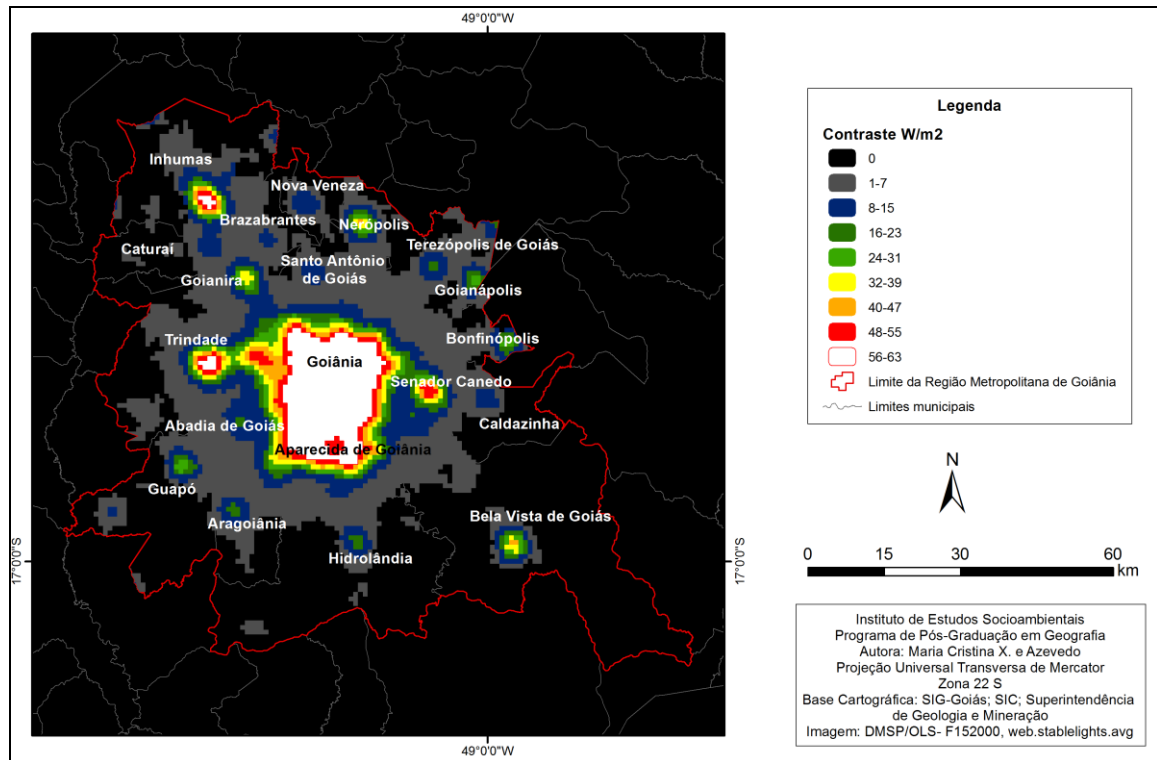


Figura 56 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2001.

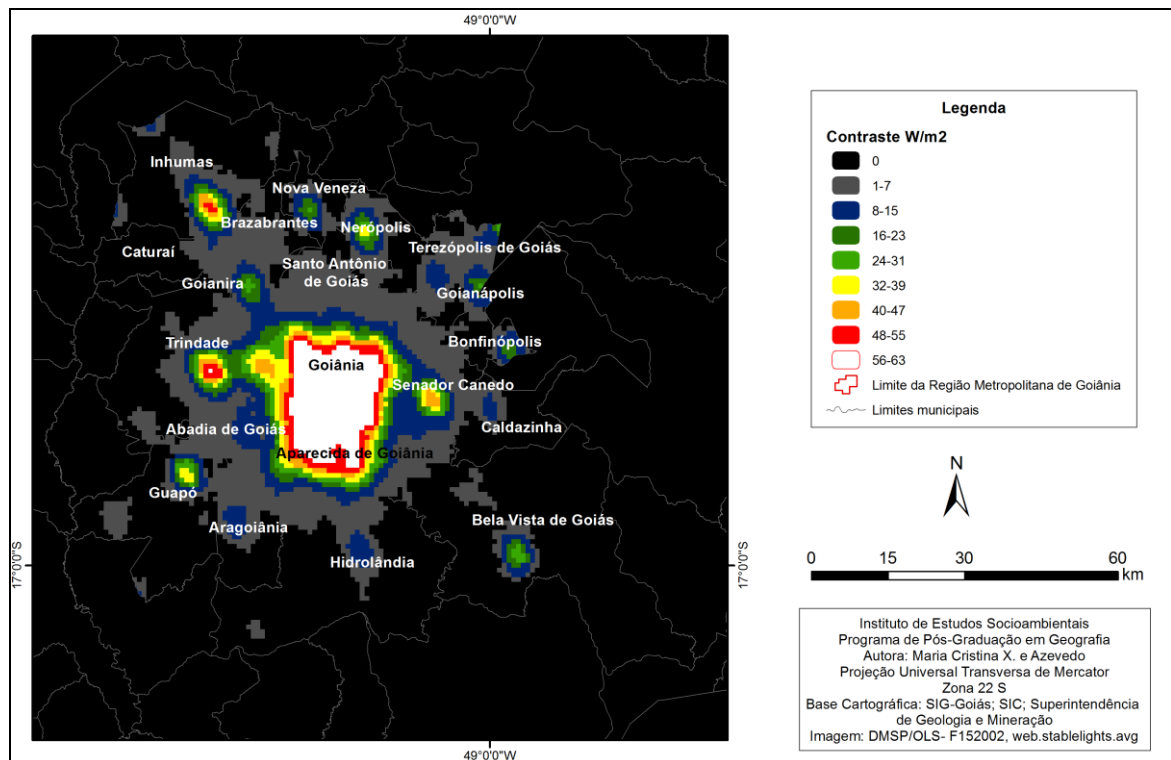


Figura 57 – Mapa da Poluição Luminosa na Região Metropolitana de Goiânia – 2002.

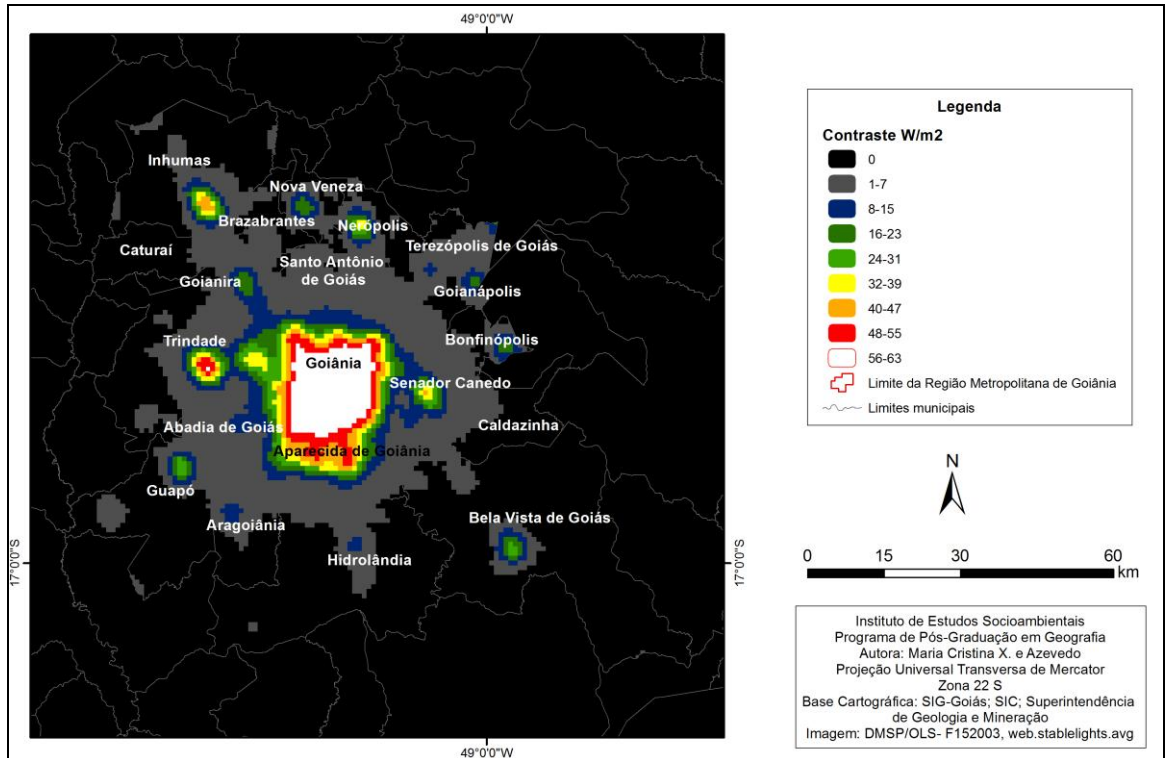


Figura 58 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2003.

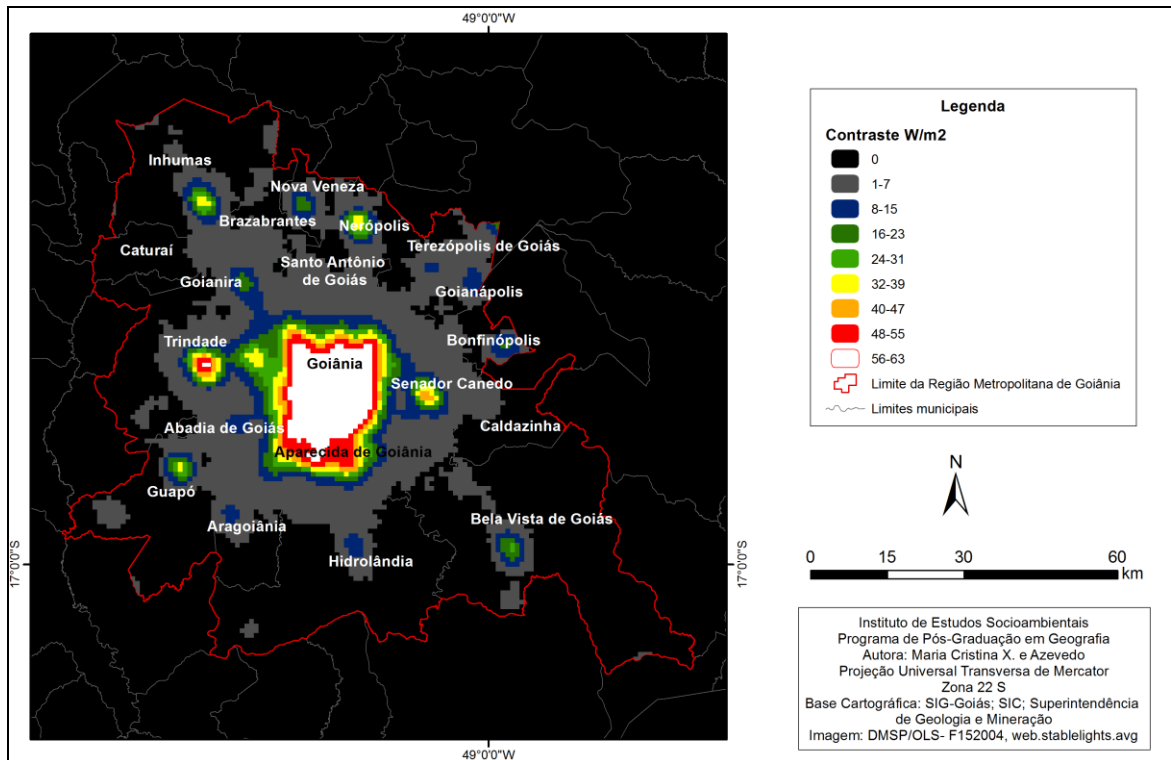


Figura 59 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2004.

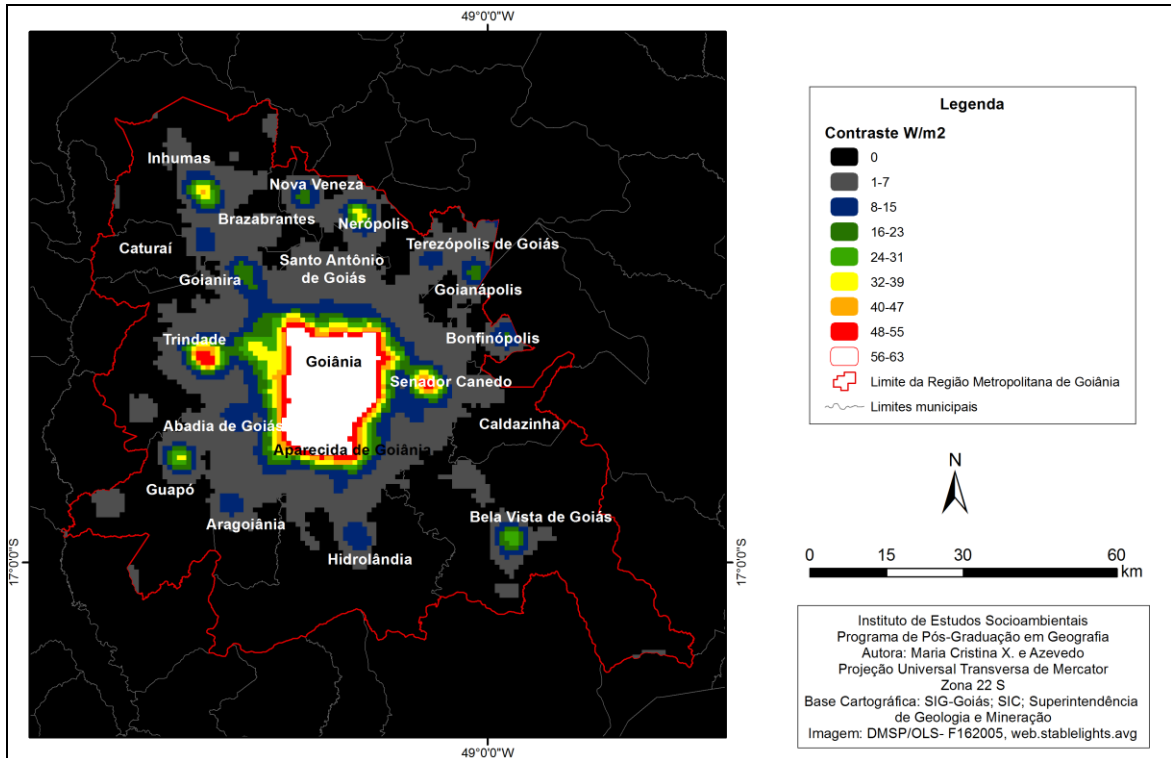


Figura 60 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2005.

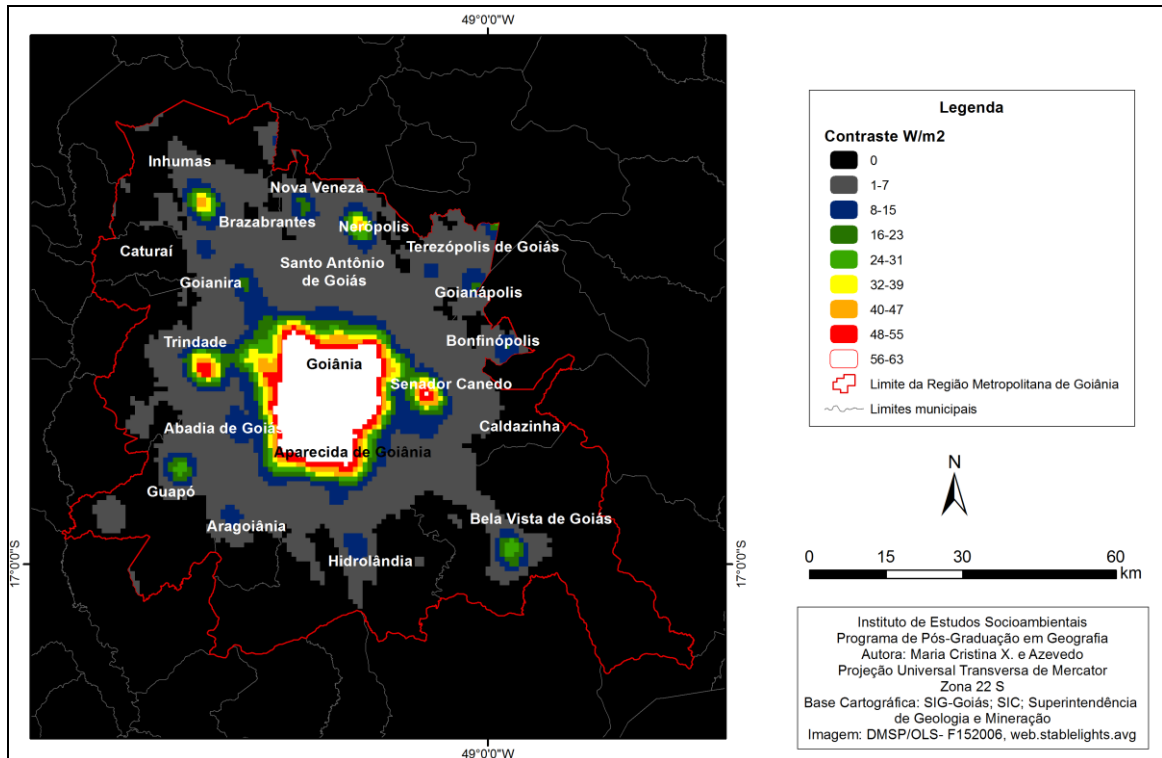


Figura 61 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2006.

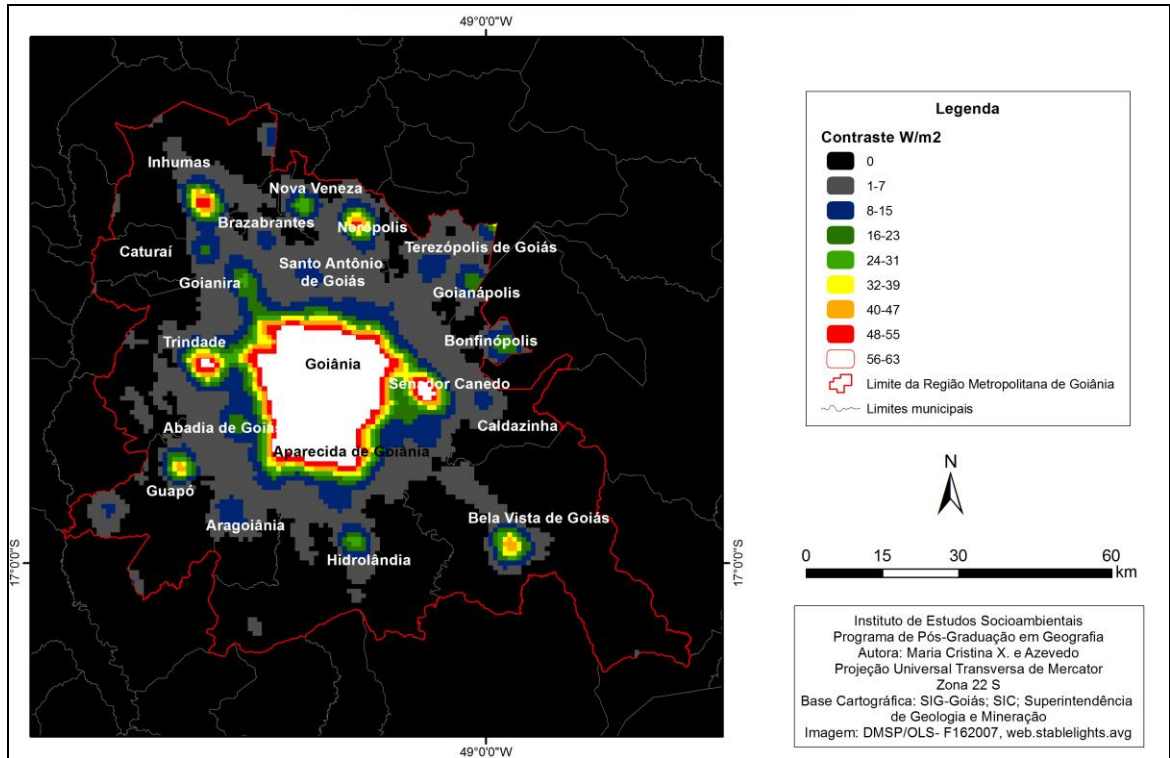


Figura 62 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2007.

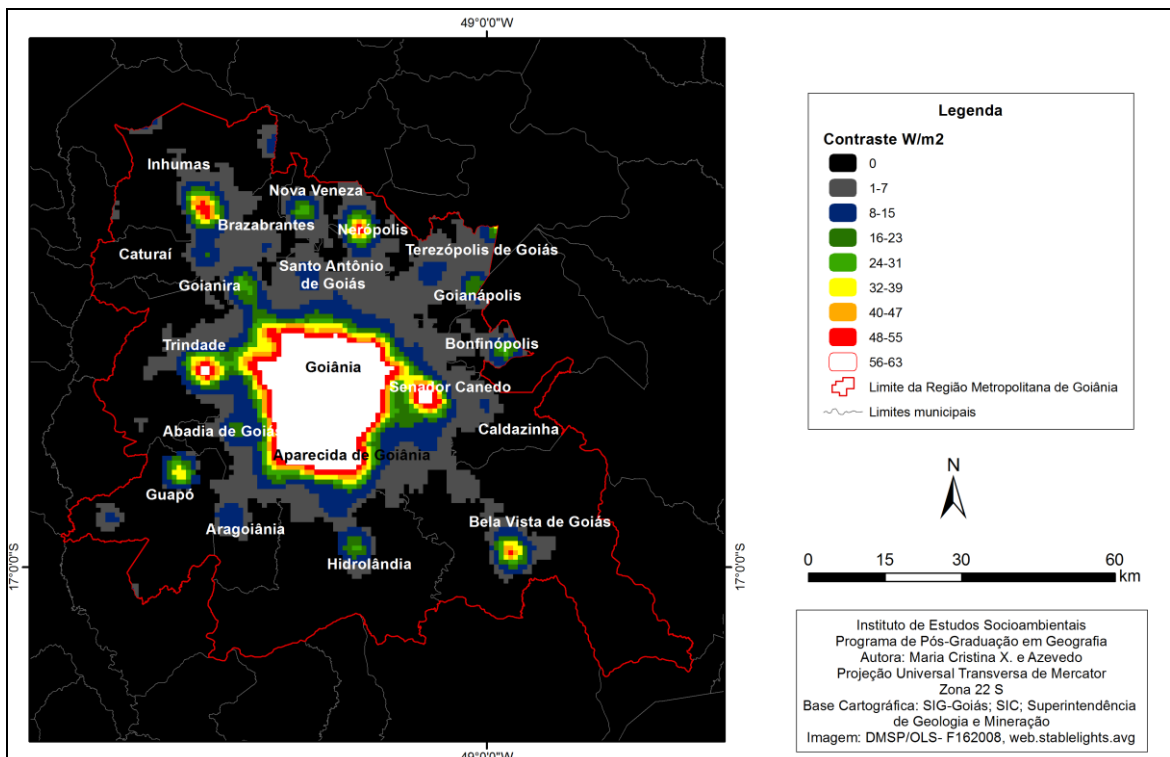


Figura 63 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2008.

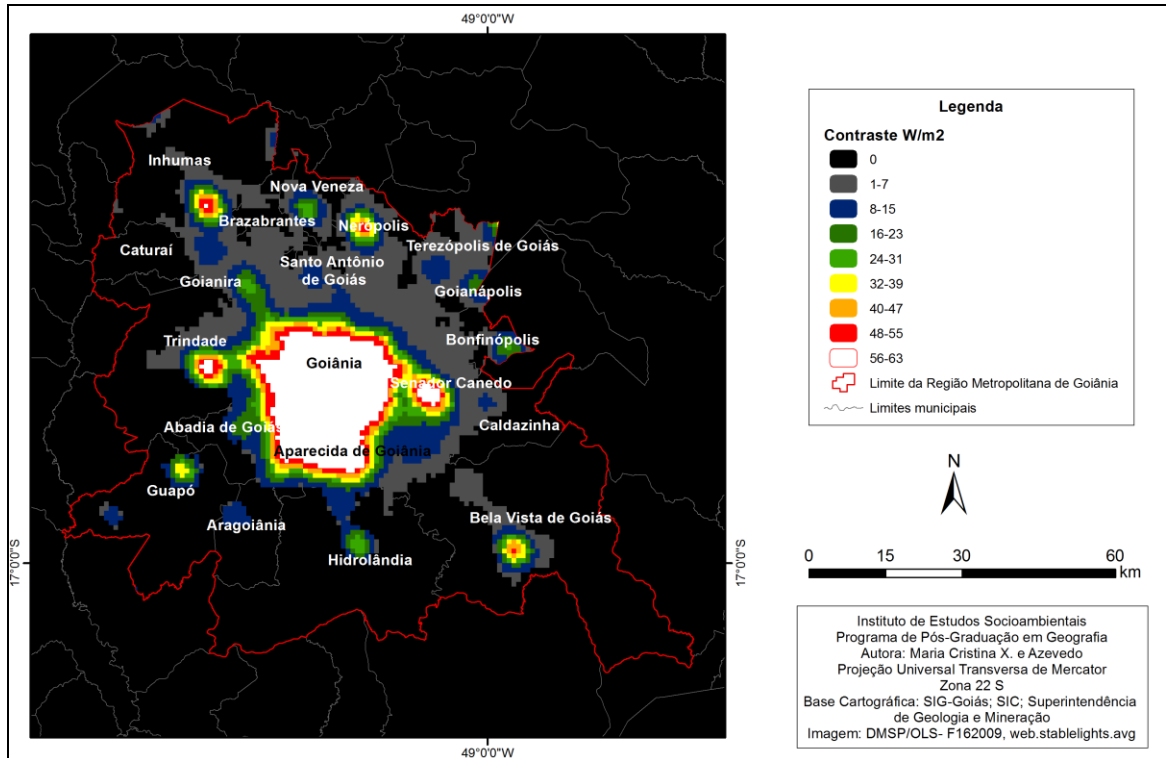


Figura 64 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2009.

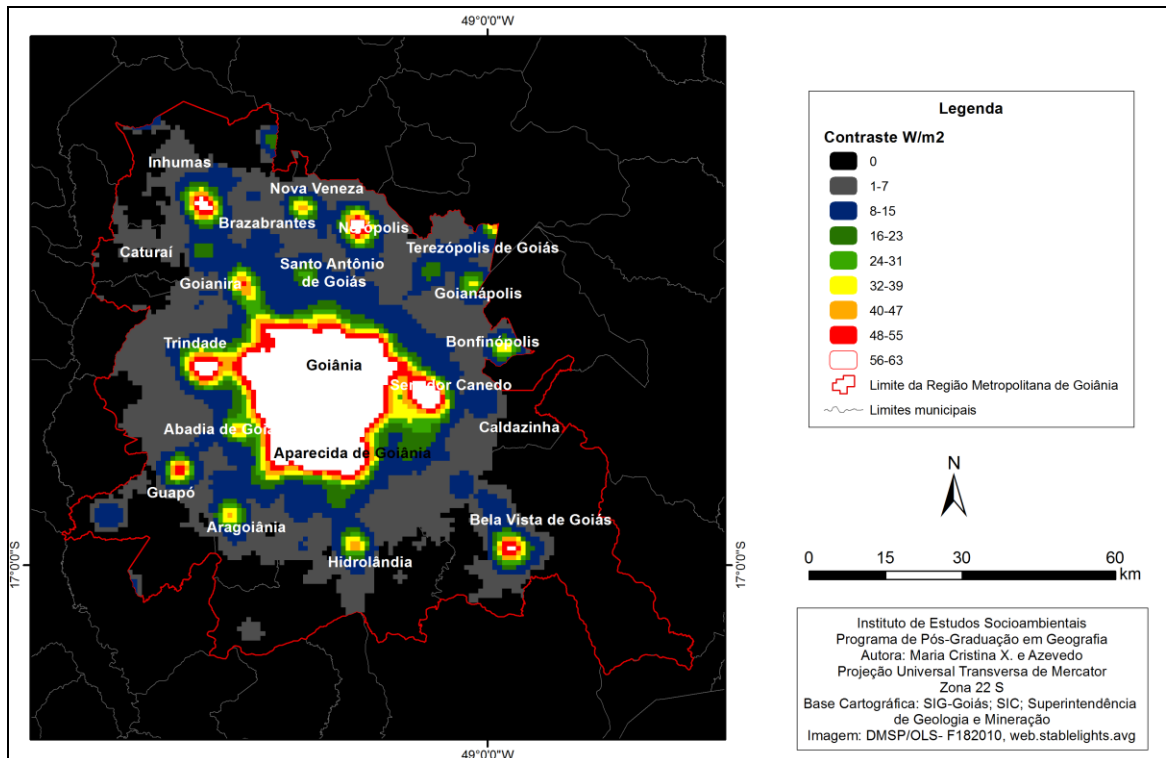


Figura 65 – Mapa de Poluição Luminosa da Região Metropolitana de Goiânia – 2010.

A expansão da poluição luminosa na RMG está relacionada ao aumento demográfico registrado nos municípios do entorno de Goiânia, em consequência da migração dos habitantes que procuram mover-se para os municípios que possuem custo de vida menor, mas

sem cortarem os laços com a capital, que ainda concentra boas oportunidades profissionais (ALMEIDA, 2002; ARRAIS, 2004). As empresas também estão procurando se instalar nessas cidades por considerá-las mais atrativas economicamente. Aparecida de Goiânia e Senador Canedo, por exemplo, vêm consolidando seus polos industriais por meio de incentivos, tanto municipais quanto estaduais.

Adicionado a esses fatores, o consumo energético ao longo desses anos, na RMG, vem subindo, como se observa na Figura 58. Dentre os municípios que apresentaram o consumo superior a 20 mil Mwh (Megawatt-hora), Goiânia foi o maior consumidor de energia elétrica da região, no período entre 2005 e 2010 (Tabela 5), o que justifica a dimensão da mancha luminosa observada na imagem de satélite DMSP-OLS e nos produtos cartográficos elaborados sobre a RMG.

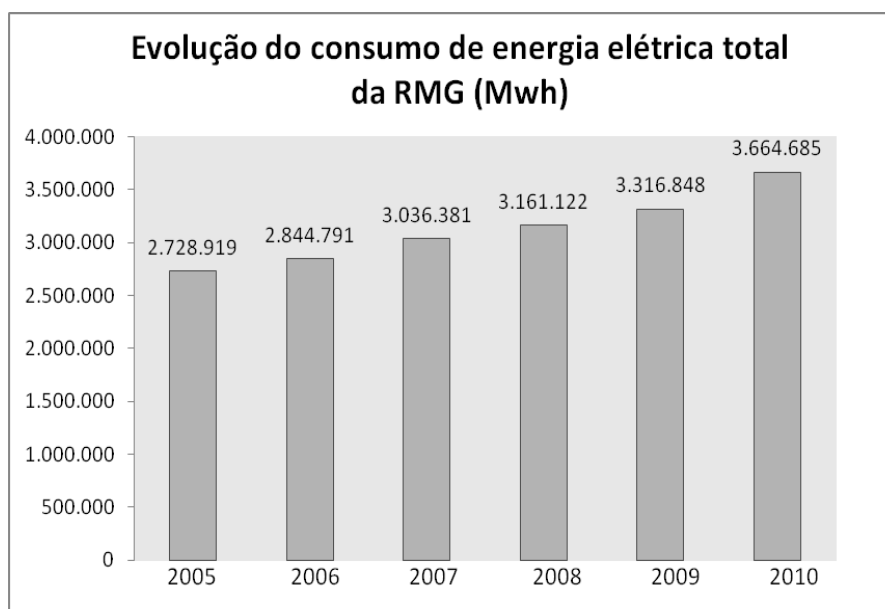


Figura 66 – Evolução do consumo de energia elétrica total da Região Metropolitana de Goiânia, 2005 a 2010.
Fonte: Instituto Mauro Borges – Segplan.

Tabela 5 - Maiores municípios consumidores de energia elétrica - Mwh

Cidades	Anos					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Aparecida de Goiânia	295.306	317.673	342.685	403.879	448.257	519.549
Bela Vista de Goiás	36.684	39.967	44.904	46.732	50.402	56.609
Goiânia	2.014.577	2.088.270	2.200.079	2.230.249	2.320.949	2.525.294
Goianira	25.957	25.731	28.413	29.198	30.318	36.954
Hidrolândia	25.963	26.126	32.013	30.474	32.012	38.736
Inhumas	62.450	59.548	55.094	62.642	66.090	67.141
Nerópolis	37.308	38.647	42.212	44.091	47.777	54.380
Senador Canedo	60.876	70.091	99.329	110.986	108.769	118.107
Trindade	98.899	103.805	110.124	118.337	123.718	149.906
Total	2.658.020	2.769.858	2.954.853	3.076.588	3.228.292	3.566.676

Fonte: Instituto Mauro Borges – Segplan.

Pela Tabela 5, constata-se que Aparecida de Goiânia, Trindade e Senador Canedo são os outros municípios mais expressivos no consumo de energia elétrica, em decorrência de serem mais populosos e apresentarem economias mais significativas. Em Inhumas, Bela Vista de Goiás, Nerópolis, Hidrolândia e Goianira, assim como nos municípios anteriores, esse aumento é explicado, em parte, pelo crescimento populacional, somado aos incentivos governamentais para atração e instalação de novos estabelecimentos comerciais ou para a efetivação de parques industriais e/ou agroindustriais, como o de Goianira, cidade conhecida pelo potencial no setor calçadista.

Por fim, embora tenha ocorrido migração de habitantes da capital para municípios vizinhos, justificando parte do crescimento do entorno e o registro do aumento anual do consumo de energia elétrica, Goiânia continua sendo precursora da poluição luminosa sobre a Região Metropolitana. Em breve as manchas de luzes de Senador Canedo e Trindade estarão unidas à da capital, formando um grande cinturão de poluição luminosa sobre a RMG e, possivelmente, os municípios do entorno apresentarão níveis superiores dessa poluição em relação aos que hoje são observados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São inegáveis as transformações e as conquistas que ocorreram na vida do homem com a chegada da luz artificial. Como as cidades passaram a ter seus monumentos embelezados, tornaram-se vivas e aptas a serem exploradas por seus habitantes. Em contrapartida, as pessoas tiveram seus hábitos de vida alterados. A prevalência do costume e da dependência da luz artificial, em detrimento da iluminação natural e do interesse pela observação do céu, chega ao ponto de o excesso dessa luminosidade não ser considerado como poluidor.

Neste trabalho, constatou-se que a indústria de iluminação, atualmente, dispõe de inúmeros modelos de lâmpadas com formas e cores variadas, e também de luminárias destinadas a diversos ambientes, criadas para atender ao mercado consumidor em ascensão. Entretanto, observou-se que o profissional de iluminação não está devidamente consciente dos meios para minimizar os efeitos desse tipo de poluição nos ambientes públicos e privados, decorrentes do grande desperdício de luz.

Com relação às luminárias públicas, notou-se que, com a substituição de modelos antigos por modelos tidos como eficientes, ocorre melhor aproveitamento do fluxo luminoso emitido pela lâmpada, pois a luz passa a iluminar apenas a área útil – o chão, o que gera economia e a consequente diminuição da poluição luminosa.

A respeito das lâmpadas, como cada modelo possui uma identidade espectral e especificidades que são desconhecidas pela maior parte dos consumidores, cuja preocupação é apenas manter suas casas iluminadas, não é possível afirmar que um modelo seja melhor do que outro; depende da finalidade que se pretende atender e também da condição financeira de cada consumidor. Entretanto, é preciso ressaltar que não existem lâmpadas boas, mas sim, lâmpadas que são menos prejudiciais que outras.

Faz-se necessário, portanto, que este tema seja amplamente divulgado e debatido com a sociedade brasileira; deve-se alertar sobre os aspectos negativos da poluição luminosa causados sobre o homem, os animais e a flora; e ressaltar formas de evitá-la ou minimizá-la, como a elaboração de planejamentos mais criteriosos, que tornem as cidades mais eficientemente iluminadas, com a adoção de um uso mais racional da energia elétrica.

Finalmente, vale ressaltar que este trabalho identificou a localização e a intensidade da poluição luminosa no bioma Cerrado a partir do aumento demográfico registrado no Censo 2010, constatando-se que, ao longo dos anos de 1992 a 2010, a poluição luminosa cresceu na área de estudo. Em relação aos mapas analisados, verificou-se o surgimento de novos pontos

de luz e até mesmo de micropontos, que, somados a outros pontos, formaram manchas de luz em diferentes intensidades, identificadas nos mapas em Watts por metro quadrado – W/m^2 .

As manchas de luz representam crescimento da poluição luminosa sobre as áreas urbanas e, por meio dessa, é possível apontar, pelas imagens, quais são as direções de crescimento de uma cidade. Essas manchas luminosas são, portanto, indicativas do desenvolvimento populacional e da importância econômica e política representada por determinada região ou cidade.

Com base nos dados e nas análises realizadas, observou-se o aumento de pontos de luz sobre as cidades de maior desenvolvimento econômico e adensamento demográfico, bem como nos municípios do entorno das capitais ou nos mais próximos a essas áreas; e, à medida que ocorre a união desses pontos, forma-se uma extensa mancha de luminosidade de variada intensidade sobre a região. No Distrito Federal, por exemplo, verifica-se que a extensão da mancha luminosa abrange as luzes emitidas dos municípios do entorno, localizados no Estado de Goiás, formando, ao longo desses, uma densa área poluída pela luz artificial.

Em Goiás, constatou-se que existe uma concentração luminosa na Região Metropolitana de Goiânia, sobretudo na capital, que é responsável pela concentração de 21,69% da população do Estado e apresenta maior aumento anual do consumo de energia elétrica em relação aos outros municípios que fazem parte da Grande Goiânia. Isso explica a extensão da mancha de poluição na área ao longo dos anos analisados, a partir das imagens DMSP-OLS.

Por fim, espera-se que este trabalho tenha contribuído para a divulgação deste tema no Brasil e em Goiás, ressaltando a investigação do fenômeno poluição luminosa. Como exemplos de propostas de trabalhos complementares, destacam-se: a análise de outras plataformas de sensoriamento remoto que registrem imagens noturnas, com melhor resolução espacial, assim como a realização de voos aerofotogramétricos noturnos que permitam a identificação dos vários tipos de lâmpadas utilizadas nas cidades; a instalação de sensores noturnos que tenham também como objetivo mensurar a radiação ultravioleta emitida pela iluminação artificial; e ainda a utilização de veículos aéreos não tripulados para transformar o céu urbano noturno em imagens disponibilizadas para futuras pesquisas. Desse modo, contar-se-ia com um extenso arquivo formado por diferentes sensores que possibilitaria acompanhar de forma mais eficiente a poluição luminosa.

Outra possibilidade de pesquisa remete à análise do aumento da poluição luminosa em áreas de crescimento demográfico, tornando possível estabelecer cenários futuros, que poderão ser divulgados e trabalhados para a conscientização da população sobre o fenômeno.

Com essa base de dados disponíveis, pode-se ainda realizar um estudo sobre os impactos da eletrificação rural no interior do Brasil no que concerne à poluição luminosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo, SP: Ateliê Editorial, 2003.

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. de S. (Org.). **De grão em grão, o cerrado perde espaço**. Brasília: WWF, 1995.

ALMEIDA, G. **Acessórios para telescópios**. Telescópios. Lisboa – Portugal: Plátano Editora, 2004.

ALMEIDA, O. F. R. Transformações no padrão demográfico de Goiás nas últimas décadas. **Abordagens geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade**. ALMEIDA, M. G. (Org.) – Goiânia: IESA, 2002.

AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. **DMSP/OLS night-time lights imagery and urban population estimates in the Brazilian Amazon**. International Journal of Remote Sensing, v. 27, n. 5, p.855-870, 2006. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/dmsp_ijrs.pdf>. Acesso em: 10 maio 2011.

AMARAL, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; ELVIDGE, C. D.; QUINTANILHA, J. A. Assessing nighttime DMSP/OLS data for detection of human settlements in the Brazilian Amazonia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 895-903. CDROM, Online. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8304-PRE/4094). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.12.37>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION HOUSE OF DELEGATES. Disponível em: <<http://docs.darksky.org/Docs/AMA%20Light%20pollution.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2012.

AQUINO, F. de G.; MIRANDA, G. H. B. de. **Consequências ambientais da fragmentação de habitats no Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008.

ARRAIS, T. A. **Geografia contemporânea de Goiás**. Goiânia: Editora Vieira, 2004.

ARRAIS, T. A. Goiás: novas regiões, ou novas formas de olhar velhas regiões. **Abordagens geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade**. ALMEIDA, M. G. (Org.) – Goiânia: IESA, 2002.

ATKINS, S.; HUSAIN, S.; STOREY, A. **The influence of street lighting on crime and fear of crime**. Crime prevention unit paper, 1991. Disponível em: <<http://www.celfosc.org/biblio/seguridad/atkins.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2012.

AUBRECHT, C.; ELVIDGE, C. D.; EAKIN, C. M. **Earth observation based assessment of anthropogenic stress to coral reefs – a global analysis**, 2008. Disponível em: <<http://www.igarss08.org/Abstracts/pdfs/4205.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2012.

AZEVEDO, M. C. X. **Aplicação de elementos de cartografia temática para a confecção do mapa de poluição luminosa da Região Metropolitana de Goiânia**. 2013, 29 f. Monografia (Curso de Geografia) Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, Goiás, 2013.

AZEVEDO, M. C. X.; SOBREIRA, P. H. A.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; PONTES, M. N. C. de. O uso de produtos DMSP-OLS para o mapeamento da poluição luminosa no Brasil. In: 63ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC, 2011a, Goiânia. **Anais**. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/resumos/resumos/3055.htm>>. Acesso em: 02 maio 2012.

AZEVEDO, M. C. X.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; SOBREIRA, P. H. A. Avaliação da taxa de urbanização do Bioma Cerrado através dos produtos DMSP-OLS: uma análise preliminar para os anos de 1992 a 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2011b. p. 6757-6762. DVD. ISBN 978-85-17-00057-7 (DVD).

AZEVEDO, M. C. X.; SOBREIRA, P. H. A.; PONTES, M. N. C. de; FERREIRA, L. G. Mapeamento da poluição luminosa em metrópoles brasileiras por meio de imagens de satélite. In: Seminário das Metrópoles, 2010, Goiânia. **Anais**. (CD-ROM).

BARGHINI, A. **Antes que os vaga-lumes desapareçam ou influência da iluminação artificial sobre o ambiente**. SP: Annablume; Fapesp, 2010.

BARGHINI, A.; MEDEIRO, B. **A iluminação artificial e o impacto sobre o meio ambiente**. Revista brasileira de Ciências Ambientais, número 5, dez. 2006. Disponível em: <http://www.rbciamb.com.br/images/online/05_artigo_1_artigos93.pdf>. Acesso em: 03 maio 2010.

BARGHINI, A.; URBINATTI, P. R.; NATAL, D. **Atração de mosquitos (díptera: culicidae) por lâmpadas incandescentes e fluorescentes**. Entomol. vectores [online]. 2004, vol.11, n.4, pp. 611-622. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ev/v11n4/v11n4a05.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

BAUGH, K.; ELVIDGE, C.; GHOSH, T.; ZISKIN, D. **Development of a 2009 stable light product using DMSP-OLS data.** Proceedings of the 30th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, 2010. Disponível em:
<http://apan.upm.edu.my/DMSP/APAN_31_Baugh.pdf>. Acesso em: 10 out. 2012.

BLASK, D. E.; BRAINARD, G. C.; DAUCHY, R. T.; HANIFIN, J. P.; DAVIDSON, L. K.; KRAUSE, J. A.; SAUER, L. A.; RIVERA-BERMUDEZ, M. A.; DUBOCOVICH, M. L.; JASSER, S. A.; LYNCH, D. T.; ROLLAG, M. D.; ZALATAN, F. **Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast.** Cancer Research, dez. 2005. Disponível em:
<<http://cancerres.aacrjournals.org/content/65/23/11174.full>>. Acesso em: 20 maio 2012.

BRASIL. Portaria IBAMA, nº 11 de 30 de janeiro de 1995. Disponível em:
<<http://ospiti.peacelink.it/zumbi/org/tamar/ibama11.html>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

CAVALIN, G. **Instalações elétricas prediais.** SP: Érica, 1998.

CINZANO, P.; ELVIDGE, C. D. **Night sky brightness at sites from DMSP-OLS satellite measurements.** Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, volume 353, out. 2004. Disponível em: <<http://www.inquinamentoluminoso.it/cinzano/download/mnr8132.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2012.

CINZANO, P.; FALCHIL, P. F.; ELVIDGE, C. D. **The first World Atlas of the artificial night sky brightness.** Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, volume 328, dez. 2001a. Disponível em: <www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2010.

CINZANO, P.; FALCHI, F.; ELVIDGE, C. D. **Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia.** Itália: ISTIL, 2001b. Disponível em:
<<http://www.inquinamentoluminoso.it/download/reportistil2001.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

CINZANO, P.; FALCHI, F.; ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E. **The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements.** Monthly Notice of the Royal Astronomical Society, volume 318, nov. 2000. Disponível em:
<http://www.lightpollution.it/cinzano/download/mnras_paper.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2010.

CINZANO, P.; FALCHI, F.; ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E. **Mapping the artificial sky brightness in Europe from DMSP satellite measurements: the situation of the night sky in Italy in the last quarter of century.** Cornell University – Libray, 1999. Disponível em:
<<http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9905340v1.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2012.

CIPOLLA-NETO, J.; AFEICHE, S. C. **Glândula pineal: fisiologia celular e função**. In: WAJCHENBERG, B. L. (Org.). Tratado de Endocrinologia Clínica, 1992.

CHARRO, M. C. **El derecho a ver las estrellas analisis de la contaminación lumínica desde una perspectiva jurídica**. Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente. nº 187, nº 35, 2001. Disponível em: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/listaarticulos?tipo_busqueda=EJEMPLAR&revista_busqueda=1150&clave_busqueda=19498>. Acesso em 20 fev. 2012.

CONAMA-Chile. **Comision Nacional Del Medio Ambiente**. Manual de aplicacion. Norma de emision para la regulacion de la contaminacion luminica. La Serena, Chile, 1999. Disponível em: <http://www.sinia.cl/1292/articles-26275_documento_pdf.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2011.

COSTA, G. J. C. da. **Iluminação Econômica: cálculo e avaliação**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

COTRIM, A. M. B. **Instalações elétricas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

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 Tecnology Institute. Padova, Itália, 2002. Disponível em:<<http://www.inquinamentoluminoso.it/istil/venice/ProcVenicelowres.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2010.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DAY ONE for light pollution Law – Czech Republic becomes first nation to outlaw excess outdoor light. Nature, maio 2002. Disponível em: <<http://www.nature.com/news/2002/020531/full/news020527-14.html>>. Acesso em: 06 maio 2012.

DIRETORIA DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA. **Doença de Chagas**. Disponível em: <www.dive.sc.gov.br/conteudos/zoonoses/Vetores/Chagas_Para_Profissionais.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2013.

DOLL, C. N. H. **Population detection profiles of DMSP-OLS night-time imagery by regions of the world**. Proceedings of the 30th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, 2010. Disponível em: <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/pubs/APAN_30_Doll.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2013.

DOLL, C. N. H. **Thematic guide to night-time light remote sensing and its applications**. CIESIN, dez. 2008. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/binaries/web/sedac/thematic-guides/ciesin_nl_tg.pdf> Acesso em: 10 jan. 2013.

DORREMOCHEA, C. H. **Por uma nueva cultura de la luz: prevención de la contaminación en los proyectos de iluminación**. CIC Arquitectura y Construcción, nº 484, p. 32-35, mar. 2011. Disponível em: <<http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz2011.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2012.

DORREMOCHEA; C. H.; MARTORELL, J. M. O.; SORA, F. J. **La iluminación com LED y el problema de la contaminación lumínica**. Astronomia, nº 144, p.36-43, junio 2011. Disponível em: <<http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

ELLIOTT, C.; EVANS, R. **Sussex CCTV scuppered by street lights**. The Argus, fev. 2010. Disponível em: <http://www.theargus.co.uk/news/5019988.Sussex_CCTV_scuppered_by_street_lights/>. Acesso em: 08 maio 2012.

ELVIDGE, C. D.; TUTTLE, B.T.; SUTTON, P. C.; BAUGH, K. E.; ARA HOWARD, T.; MILESI, C.; BHADURI, B.; NEMANI, R. **Global distribution and density of constructed impervious surfaces**. Sensors, volume 7, 2007. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/7/9/1962>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

ESTEVAM, L. A. O tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás. Goiânia: Editora do Autor, 1998.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M., FERREIRA, N. C. **Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de Cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada**. Revista Brasileira de Cartografia, nº 61/2, 2009. Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_61_2009/61_02_4.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2011

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENTINO, A.A.C. **Ritmo circadiano e ciclo sono-vigília**. Medicina Geriátrica-Geriatria e Gerontologia, 2008. Disponível em: <<http://www.medicinageriatria.com.br/tag/ritmo-circadiano/>>. Acesso em: 11 jan. 2013.

FONSECA, R. S. **Iluminação elétrica**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1974.

GALLAWAY, T.; OLSEN, R. N.; MITCHELL, D. M. **The economics of global light pollution**. Department of Economics. Missouri State University, Springfield, 2009. Disponível em: <http://www.missouristate.edu/assets/econ/world_light_pollution.pdf>. Acesso em: 12 maio 2012.

GARGAGLIONI, S. R. **Análise legal dos impactos provocados pela poluição luminosa do ambiente**. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<http://juno.unifei.edu.br/bim/0032988.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

GENT, B. **Como salvar o céu noturno**. Revista Astronomy Brasil. vol. 1, nº 10, fev. 2007.

GHETTI, P. Inquinamento luminoso e qualità della vita. In: CINZANO, P.(ed.) **Light pollution and the protection of the night environment**. Light Pollution Science and Technology Institute. Padova, Itália, 2002. Disponível em: <<http://www.inquinamentoluminoso.it/istil/venice/ProcVenicelowres.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2010.

GOIÁS (Estado). Lei complementar nº 78, de 25 de março de 2010. Cria a Região Metropolitana de Goiânia. **Diário oficial do Estado de Goiás**. Goiânia, GO, 5 abr. 2010. Disponível em: <http://www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_leis.php?id=9457>. Acesso em: 10 jan. 2013.

GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. **Evolution of the insects**. Cambridge University Press. Cambridge, 2006.

HOUSE OF COMMONS. **Light Pollution and Astronomy**. The Science and Technology Committee. Volume 1, London - Inglaterra, 2003. Disponível em: <<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200203/cmselect/cmsctech/747/747.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2012.

IDA. Asociacion Internacional Cielo-Obscuro. **Aspectos de visibilidad, ambientales y astronômicos asociados con iluminacion para exteriores blue-rich White**, 2010. Disponível em: <<http://docs.darksky.org/Reports/IDA-Blue-Rich-Light-White-Paper-espanol.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

JASSER, S. A.; BLASK, D. E.; BRAINARD, G. C. **Light during darkness and câncer: relationships in circadian photoreception and tumor biology**. Cancer Causes & Control. v. 17, maio 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10552-005-9013-6#page-1>>. Acesso em: 10 maio 2012.

JENSEN, J. R., **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphany (Coord.). São José dos Campos, SP: Editora Parêntese, 2009.

KAMPEL, S. A. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira/ S. A. 2003. 166f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~silvana/TESE/TESE_2Ed.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2010.**

KENDALL, B.; ESTON, R. **Exercise –induced muscle damage and the potential protective role of estrogen**. *Sports Med.* 2002, vol. 32, nº 2.

LIMA, J. E. F.W.; SILVA, E. M. da. Recursos hídricos do bioma Cerrado: importância e situação. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Editora Uniderp, 2006.

MIGUEL, A. S. de; ZAMORANO, J. **Midiendo la contaminación del cielo desde el espacio**. *Revista Física y Sociedad*, nº 21, jun. 2011. Disponível em: <http://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21_completo.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2012.

MIRANDA, H. **Expansão da agricultura e sua vinculação com o processo de urbanização na Região Nordeste/ Brasil (1990-2010)**. *EURE*, vol. 38, nº 114, maio 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.cl/pdf/eure/v38n114/art07.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MIRANDA, E. E.; ELVIDGE, C. D.; PANIAGO, C. F. Uso dos sistemas NOAA e DMSP na detecção de queimadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. (SBSR), 1996, Salvador. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. p. 205-206. CD-ROM. ISBN 85-17-00014-5. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.03.09.43>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

MOREIRA, V. de A. **Iluminação elétrica**. Editora Edgard Blücher Ltda, 1999.

MUELLER, C. C.; MARTHA JÚNIOR, G. B. M. **A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado**. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/570974>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

NETO, A. T. **O território goiano-tocantinense no contexto do Cerrado**. GOMES, H. (Coord.). Universo do Cerrado. Goiânia: Ed. da UCG, v. 1, 2008.

ODA, T.; MAKSYUTOV, S. A very high-resolution global fossil fuel CO₂ emission inventory derived using a point source database and satellite observations of nighttime lights, 1980-2007. Atmospheric Chemistry and Physics. 2010. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/10/16307/2010/acpd-10-16307-2010.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

OLIVEIRA FILHO, E. C.; MEDEIROS, F. N. da S. Ocupação humana e preservação do ambiente: um paradoxo para o desenvolvimento sustentável. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. Planaltina-DF, 2008.

PÉREZ, J. A. M.; LAMA, M. Á. R. de. **Impacto sobre la salud** – Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana. Guía Práctica de Iluminación Exteriores. IAC/OTPC – Conana Aura Carso ESO/OPCC, jul. 2010. Disponível em: <http://www.iac.es/adjuntos/optc/opcc-optc_guia.pdf>. Acesso em: 21 maio 2012.

PIMENTA, J. L.; CARVALHO, C. **Iluminação urbana**: Uso eficiente das fontes de luz. LUME Arquitetura, nº19, abr./maio 2006. Disponível em: <<http://www.lumearquitetura.com.br/edicao19.html>>. Acesso em: 21 maio 2010.

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (Colab.). Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne_2030/PlanoNacionalDeEnergia2030.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

PROJETO TAMAR. Disponível em: <<http://www.tamar.org.br/>>. Acesso em: 28 jun. 2012.

RALOFF, J. **Does light have a dark side?** Nighttime illumination might elevate cancer risk. Science News – Night Lights and Cancer, volume 154, nº 16, dez. 1998. Disponível em: <http://www.sciencenews.org/sn_arc98/10_17_98/19981017fob.asp>. Acesso em: 21 maio 2012.

RAVEN, H. P.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia Vegetal. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1996.

RIBEIRO, M. E. J. **Goiânia**: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes. Goiânia: Editora da UCG, 2004.

ROCHA, G. F.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.. **Detecção de desmatamentos no Bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos.** Revista Brasileira de Cartografia, nº 63/3, set. 2011. Disponível em: <<http://www.rbc.lsie.unb.br/index.php/rbc/article/download/385/377>>. Acesso em: 10 set. 2011.

ROMANO, G. Importanza del cielo stellato per l'uomo nei secoli. In: CINZANO, P.(Ed.) **Light pollution and the protection of the night environment.** Light Pollution Science and Technology Institute. Padova, Itália, 2002. Disponível em: <<http://www.inquinamentoluminoso.it/istil/venice/ProcVenicelowres.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2010.

ROSITO, L. H. **Capítulo V Avaliação da Conformidade em iluminação pública.** O Setor Elétrico, maio 2009. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed.40_desenvolvimento_da_iluminacao_publica_no_brasil.pdf> Acesso em: 21 abr. 2012.

SALVETTI, A. R. **A história da luz.** 2ª ed. rev. – SP: Editora Livraria da Física, 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento semidetalhado (escala de 1: 250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SILVA, L. L. F. da. **Iluminação pública no Brasil:** aspectos energéticos e institucionais. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/llfroes.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

SILVA, M. L. da. **Luz, lâmpadas e iluminação.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008.

SMALL, C.; POZZI, F.; ELVIDGE, C. D. **Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights.** Remote Sensing of Environment , 2005. Disponível em: <<http://www.ciesin.columbia.edu/repository/ulandsat/docs/SmallRSE2005.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

TOSINI, G.; POZDEYEV, N.; SAKAMOTO, K.; IUVONE, P. M. **The circadian clock system in the mammalian retina**. National Institutes of Health, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2505342/>>. Acesso em 10 dez. 2012.

VANDERLEI, L. B. C.; MARTINS, L. B.; VANDERLEI, L. O. O. **Iluminação urbana e caminhabilidade noturna**. Revista Lumière. v. 9, n. 115, nov. 2007.

VIGO, G. E. M. de. **Contemplando la noche a buena luz**. Revista Física y Sociedad, nº 21, jun. 2011. Disponível em: <http://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21_completo.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2012.

WALKER, M. F. **The California site survey**. Publications of the Astronomical Society of the Pacific. vol. 82, n.487, p. 672, 1970. Disponível em: <<http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1970PASP...82..672W/0000672.000.html>>. Acesso em: 10 maio 2012.

WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M. de; RIBEIRO, J. F. **O conceito de Savana e de seu componente Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008.