



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANÁLISE DA POLUIÇÃO LUMINOSA NA CIDADE DE BELO HORIZONTE –  
MINAS GERAIS**

Vinicius Silva Soares

**Belo Horizonte**

**2022**

**Vinicius Silva Soares**

**ANALISE DA POLUIÇÃO LUMINOSA NA CIDADE DE BELO HORIZONTE –  
MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Msc. Sidney Maia Araújo

Coorientador: Prof. Dra. Fabiana da Conceição Tiago Pereira



**Belo Horizonte**

**2022**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

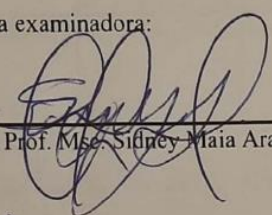
VINICIUS SILVA SOARES

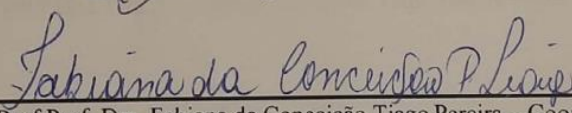
ANÁLISE DA POLUIÇÃO LUMINOSA NA CIDADE  
DE BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS

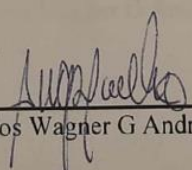
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

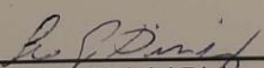
Aprovado em 14 de julho de 2022

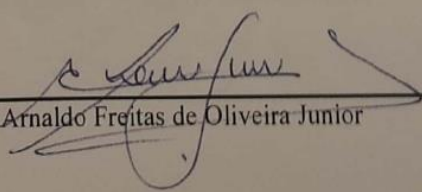
Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Prof. Msc. Sidney Maia Araújo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Prof. Dra. Fabiana da Conceição Tiago Pereira – Coorientadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof Carlos Wagner G Andrade Coelho - Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof Leonardo Gabriel Diniz

  
\_\_\_\_\_  
Prof Arnaldo Freitas de Oliveira Junior

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus que sempre me fortaleceu e criou oportunidades para eu estar aqui. À minha família, em especial minha mãe Patrizia, minha irmã Camila, meu pai Hernani, minhas avós Ailza e Neuza por sempre terem me ajudado de todas as formas. Agradeço a Vó Vânia que partiu cedo desse plano logo quando iniciei a faculdade. Não posso deixar de agradecer a Bárbara que foi e é uma pessoa muito importante para mim, que sempre buscou me motivar e sempre acreditou no meu potencial.

Agradeço o professor Sidney e a professora Fabiana por terem aceitado me orientarem e não terem medido esforços para me ajudar nesta pesquisa.

A toda equipe da ArcelorMittal Contagem por terem aberto as portas para mim ao mercado de trabalho como primeiro estágio, em especial aos (as) meus amigos (as) e antigos gestores Mauro, Rodrigo e Giani.

Agradeço também a toda a equipe da Direcional Engenharia, em especial à Kyria, Christiane, André e Paulo que me deram uma oportunidade de trabalho antes mesmo da minha formatura e por sempre terem acreditado no meu trabalho.

A todos os professores do DCTA e do CEFET- MG que fizeram parte desta jornada e por todo o aprendizado compartilhado.

Gratidão aos colegas e amigos que fiz durante esta jornada acadêmica, em especial os amigos do GEDAI e da pelada de quinta. Agradeço aos meus amigos de faculdade, Eric, Michael, Fred e ao eterno amigo João Vitor Gomides, que iniciou esta jornada junto comigo e, infelizmente, partiu-se cedo para o outro plano.

Agradeço por fim a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram nesta jornada.

## RESUMO

SOARES, VINICIUS. **Análise da Poluição Luminosa na Cidade de Belo Horizonte – Minas Gerais**. 2022. p.47. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

Observar o céu noturno em seu ímpeto de beleza e contraste é uma dádiva, a qual serviu como bússola para os Homo sapiens por gerações e como um guia para várias espécies de seres vivos. Infelizmente, com o desenvolvimento da indústria e da sociedade, esse recurso natural foi ofuscado por um problema conhecido como poluição luminosa. Segundo a International Dark-Sky Association (2022), a poluição luminosa é definida como "o uso inadequado ou excessivo de luz artificial a qual pode gerar sérias consequências à vida humana, ao meio ambiente e aos animais selvagens. Como todo tipo de poluição, a poluição luminosa também tem seus impactos, tais como: Ambiental, Econômico e Social. Segundo Castanho (2009), a poluição luminosa pode prejudicar de várias formas alguns animais, como por exemplo confundir a orientação animal (orientação pelas estrelas), alterar interações de competição, alterar relações entre presas/predadores e afetar a fisiologia do animal e impedir a atividade astronômica. A presente pesquisa teve como objetivo geral a realização de uma análise qualitativa da intensidade da poluição luminosa na cidade de Belo Horizonte com o auxílio de dados de sensoriamento remoto, especificamente das imagens do satélite VIIRS através do tratamento desses dados por meio do software *Light Pollution Map* e *Qgis* versão 3.22.8. A pesquisa apontou um alto grau de intensidade de poluição luminosa em vários locais da cidade, em especial nos bairros e avenidas mais movimentados, demonstrando valores superiores a  $40 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  de radiância.

**Palavras-Chave:** Poluição Luminosa, Geoprocessamento, Impactos Ambientais.

## ABSTRACT

SOARES, VINICIUS. **Analysis of Light Pollution in the City of Belo Horizonte – Minas Gerais**. 2022.p.47. Monograph (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022

Observing the night sky for its surge of beauty and contrast is something of a living compass for a nighttime guide to various species of living things. and designed, this natural resource was society with a problem known as the useful development of industry. According to the International Association Dark2022, the luminous is defined as "the use that the dark or prolonged environment of artificial life generate, to the artificial environment and to wild animals. According to Castanho (2009), the window can change some forms of animals, as an example of the organization of such animals (east), change some forms of animal's fight, search/predators and the search between the physiology of the animal and the physiology of the remote target, specifically from the VIIRS satellite images through the treatment of these data through from Light Pollution Map software and Qgis version 3.22 8. Neighborhoods, a high degree of city traffic abundance, in the neighborhoods, demonstrating a high degree of city resource abundance, in the neighborhoods, demonstrating various values greater than  $40 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .

**Keywords:** Light Pollution, Geoprocessing, environmental impacts.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo geral .....	12
2.2	Objetivos Específicos .....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1	Compreendendo a Poluição Luminosa .....	13
3.1.1	O processo evolutivo da Luz .....	14
3.1.2	A poluição Luminosa .....	16
3.2	Como analisar a Poluição Luminosa .....	20
3.3	Sensoriamento Remoto na Identificação da Iluminação Artificial.....	22
3.4	A Poluição Luminosa e Seus impactos.....	23
3.4.1	A poluição Luminosa .....	23
3.4.2	Impacto Social .....	26
3.4.3	Impacto Ambiental .....	27
3.4.4	Impacto Econômico.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1	Materiais .....	32
4.2	Métodos .....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
6	CONCLUSÕES.....	42
7	RECOMENDAÇÕES.....	43
	REFERÊNCIAS .....	44

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Espectro eletromagnético.....	14
Figura 3.2 - Comparação entre os modelos de lâmpadas. ....	15
Figura 3.3 - Ilustração dos tipos de poluição luminosa causados pela propagação das luzes. .....	17
Figura 3.4 - Brilho da cidade de Itajubá -MG .....	18
Figura 3.5 - Ofuscamento das luzes em Belo Horizonte - MG. ....	19
Figura 3.6 - Luz intrusiva provocada por iluminação ineficiente.....	20
Figura 3.7 - Poluição Luminosa no mundo, 2022. ....	22
Figura 3.8 - Modelos de iluminação. ....	23
Figura 3.9 - Exemplo de luminária ineficiente. ....	24
Figura 3.10 - Modelos de luminárias eficientes ou ineficientes. ....	25
Figura 3.11 - Tartarugas sendo guiadas pela iluminação artificial.....	29
Figura 4.1 - Mosaico Diário VIIRS .....	33
Figura 4.2 - Mapa da intensidade de Luz .....	34
Figura 4.3 - Radiância no Centro de Belo Horizonte. ....	35
Figura 5.1 - Mapa de poluição luminosa no Brasil.....	36
Figura 5.2 - Escala de cores da Poluição Luminosa. ....	37
Figura 5.3 - Mapa da cidade de Belo Horizonte e suas localizações.....	38
Figura 5.4 - Região de maior concentração da poluição luminosa em Belo Horizonte. ....	39
Figura 5.5 - Quadro ilustrativo do índice da poluição luminosa em alguns bairros de Belo Horizonte. ....	40



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABNT** - *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

**BNDES** - *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*

**DMSP** - *Defense Meteorological Satellite Program*

**IDA** - *International Dark-Sky Association*

**km<sup>2</sup>** - *Quilômetro quadrado*

**LED** - *Light Emitting Diode*

**lm/W** - *Lúmen por watt*

**Mag/arcsec<sup>2</sup>** - *Brilho Superficial*

**NBR** - *Norma Brasileira*

**NOAA** - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

**OLS** - *Operational Linescan System*

**STAR JPSS** - *STAR Joint Polar Satellite System*

**UV** - *Radiação Ultravioleta*

**VM** - *Vapor de Mercúrio*

**VSAP** - *Vapor de Sódio de Alta Pressão*

**VSBP** - *Vapor de Sódio de Baixa Pressão*

**W/m<sup>2</sup>** - *Watts por metro quadrado*

**µm** - *Micrômetro*

## 1 INTRODUÇÃO

Observar o céu noturno em seu ímpeto de beleza e contraste é uma dádiva, a qual serviu como bússola para o Homo sapiens por gerações e como um guia para várias espécies de seres vivos. Desde os primeiros humanos, o céu tem sido um guia para ajudá-los, por exemplo, na agricultura, caça, pesca, navegação marítima e migração (TOMANIK e BASTOS, 2012).

Mesmo com o desenvolvimento da indústria e da sociedade, esse recurso natural foi ofuscado por um problema conhecido como poluição luminosa. A poluição luminosa existe no cotidiano da sociedade moderna, principalmente nas grandes cidades. Essa poluição é considerada um efeito colateral da industrialização. Embora a lâmpada de Thomas Edison tenha revolucionado uma etapa da evolução humana no final do século XIX, hoje, pode-se dizer que essa invenção histórica e revolucionária contribuiu para o problema da poluição luminosa além do desenvolvimento social e econômico (CASTANHO, 2009).

Segundo a International Dark-Sky Association (2022), a poluição luminosa é definida como o uso inadequado ou excessivo de luz artificial a qual pode gerar sérias consequências à vida humana, ao meio ambiente e aos animais selvagens.

A poluição luminosa afeta direta e indiretamente as zonas urbanas (BERNARDO 2020), através da difusão da luz na atmosfera, nas zonas circundantes, rurais e florestadas. Mesmo as zonas rurais tendem a ser cada vez mais iluminadas, diminuindo a área da Terra que é regulada exclusivamente pela iluminação natural do Sol. Com relação à poluição luminosa, existem três tipos que podem ser definidas como: brilho no céu (*Skyglow*), luz ofuscante (*Glare*) e luz intrusa (*Light Trespass*) (NUNES & DOURADO, 2017).

Como todo tipo de poluição, a poluição luminosa também tem seus impactos, tais como: Ambiental, Econômico e Social. Segundo Castanho (2009), a poluição luminosa pode prejudicar de várias formas alguns animais, como por exemplo confundir a orientação animal (orientação pelas estrelas), alterar interações de competição, alterar relações entre presas/predadores e afetar a fisiologia do animal e impedir a atividade astronômica.

A iluminação artificial, refletida no céu das cidades, pode afetar diretamente o bem-estar dos seres vivos. Isso se deve principalmente à instalação de modelos de luminárias pouco eficientes em vias públicas, pois esses modelos levam ao surgimento e expansão da poluição luminosa, fenômeno pouco estudado e compreendido na sociedade brasileira, mas que tem

causado algum impacto (AZEVEDO et al., 2013). Além de prejudicar alguns animais e plantas, a poluição luminosa afeta diretamente os cofres públicos, uma vez que, com a iluminação artificial mal direcionada, iluminando precariamente o ambiente e dispersando a luz para cima, tem-se um desperdício de dinheiro e de recursos naturais muito grande.

Atualmente existem várias formas de analisar e quantificar esta problemática, como por exemplo por meio da utilização do sensoriamento remoto e alguns *softwares*, dos quais permitem obter dados da incidência de radiância emitida por um determinado local em tempo real por meio de satélites.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar qualitativamente os níveis de poluição luminosa na cidade de Belo Horizonte MG, através de uma análise de literatura e com a utilização de softwares de geoprocessamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Partindo desse objetivo principal, têm-se como objetivos específicos:

- Evidenciar e mapear a intensidade de poluição luminosa na cidade de Belo Horizonte.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

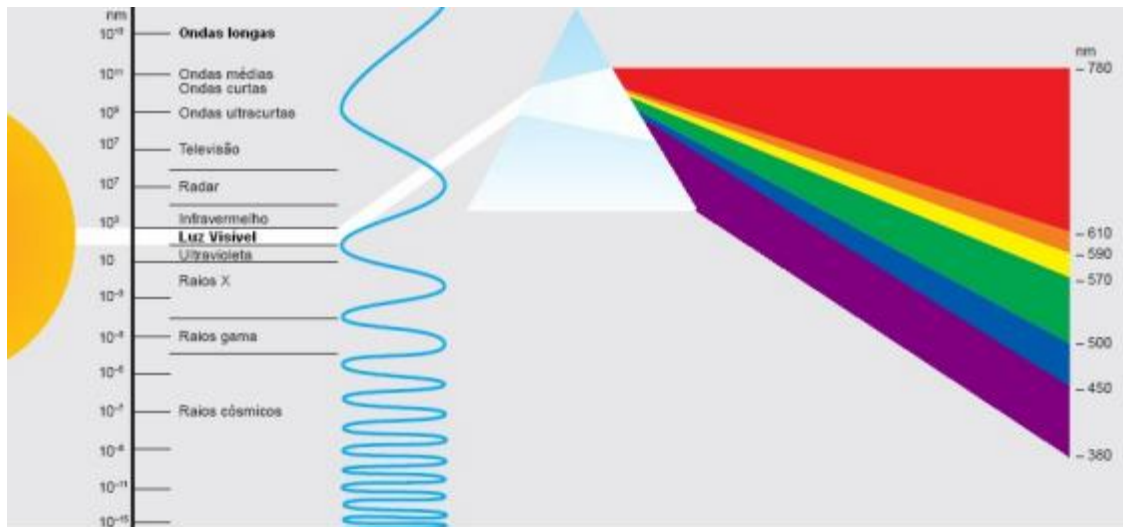
#### 3.1 Compreendendo a Poluição Luminosa

A luz está ligada diretamente à sobrevivência dos seres humanos. O primeiro controle desse fenômeno foi quando a espécie humana deteve o domínio do fogo e isso foi fundamental, pois foi uma importante fonte de calor, proteção contra animais selvagens e fonte de luz (MARTINS,2018). 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 (AZEVEDO et al., 2013). Pode-se dizer que a luz é uma parcela da radiação eletromagnética incluída entre 380 e 700 nanômetros. Isso, se pensar não apenas em termos da visão humana, mas da visão de outras espécies ou, em geral, dos diferentes processos fotobiológicos, incluída entre 280 e 1400 nm. (BARGHINI, 2010).

As radiações eletromagnéticas com ondas inferiores a 400 nm possuem comprimentos de ondas curtas (alta frequência), enquanto as ondas superiores a 780 nm possuem baixa frequência devido ao comportamento ondulatório ser longo (AZEVEDO et al., 2013). O físico alemão Wilhelm Wien, em 1893, encontrou uma expressão matemática que descrevia a maneira como a emissão de luz por um corpo negro variava com a temperatura. Wien verificou que ao aumentar a temperatura do corpo negro, o comprimento de onda correspondente ao brilho máximo de luz emitida pelo mesmo deveria tornar cada vez mais curto, deslocando-se para a parte violeta do espectro eletromagnético (MARTINS,2018).

A Figura 3.1 detalha um modelo do espectro eletromagnético e suas principais faixas, as quais variam de acordo com a frequência e o comprimento das ondas. Como se pode perceber na Figura 3.1, a radiação visível é apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético e, nessa região, pode-se dizer que o comprimento de onda determina a cor da luz, mas existem formas de luz que os olhos não são capazes de perceber, como o Infravermelho, o Ultravioleta, as ondas de Rádio e os Raios-X.

**Figura 3.1 - Espectro eletromagnético.**



Fonte: GARGAGLIONI, 2007

### 3.1.1 O processo evolutivo da Luz

Para alguns filósofos gregos, a luz era algo inerente à capacidade de visão, ou seja, a luz era entendida como parte do sistema visual, e não como uma propriedade separada. Para Pitágoras, objetos visíveis emitem um fluxo constante de partículas contendo suas informações exatas e bombardeiam o olho. (MARTINS,2018).

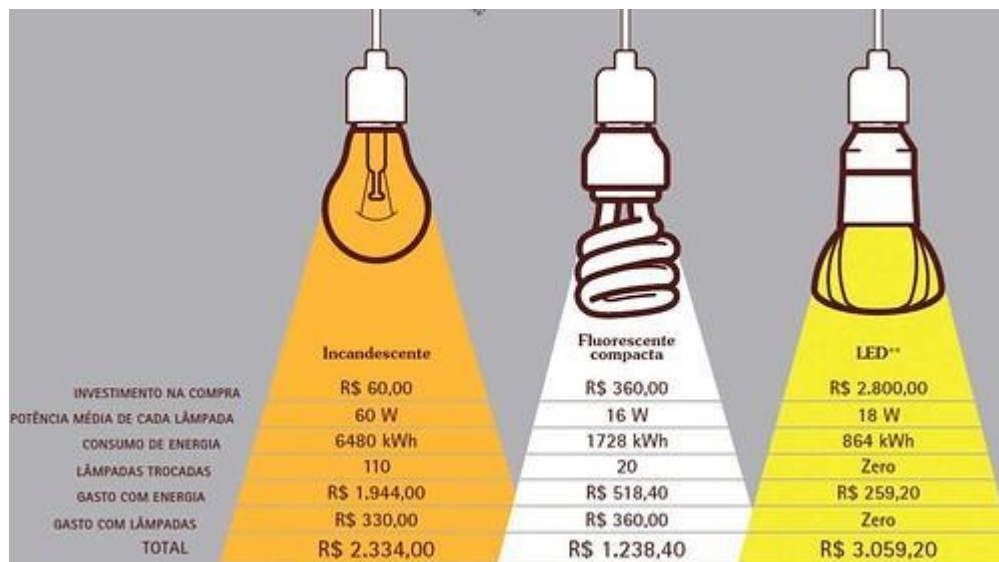
A produção da luz pode ser considerada, de acordo com Costa (2006), um processo evolutivo que se deu em quatro etapas: a primeira ocorreu com a conquista da arte de manipular o fogo, de modo que proporcionou o ser humano a cozinhar seus primeiros alimentos.

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 que passou a trazer melhorias de suma importância para a população naquele período. 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). A terceira fase, surgiu com a grande invenção realizada por Thomas Alva Edison (1847-1931), a qual criou a lâmpada incandescente com filamento de carvão e promovendo uma revolução no sistema de iluminação da época (AZEVEDO, 2013). A última fase está relacionada aos dias atuais com a constante busca de novas tecnologias para aprimorar cada vez mais o desempenho e eficiência das lâmpadas, como por exemplo a

lâmpada de Light Emitting Diode - LED (AZEVEDO, 2013).

Ao analisar as lâmpadas citadas anteriormente, pode-se notar uma grande diferença conforme consta na Figura 3.2. As lâmpadas incandescentes, segundo Haddad e Yamachita (2001), resultam da incandescência de um fio percorrido por uma corrente elétrica, por aquecimento do filamento em vácuo ou em um determinado gás. Já as lâmpadas fluorescentes são lâmpadas de descarga de baixa pressão, e a luz é produzida por pós-fluorescentes ativados por radiação ultravioleta de descarga. São modelos mais econômicos do que as incandescentes, no entanto, devido à presença de mercúrio, estas lâmpadas podem ser uma problemática ambiental com relação a sua reciclagem (GARGAGLIONI, 2007).

**Figura 3.2** - Comparação entre os modelos de lâmpadas.



Fonte: funverde.org (2014)

Com relação às lâmpadas LED, segundo o BNDES (2017), são dispositivos semicondutores que emitem luz por eletroluminescência (passagem de corrente elétrica). Essa característica os difere das fontes de luz tradicionais, produz mais luz (lúmens) por watt consumido, levando à economia de energia – de 50% a 80% – quando comparado a tecnologias tradicionais, resultando em redução de custo e de emissões de carbono. O LED não emite radiação UV e não contém mercúrio, substância tóxica encontrada principalmente nas

lâmpadas de descarga de alta pressão de vapor de mercúrio e, em menor quantidade, nas fluorescentes e fluorescentes compactas (GARGAGLIONI, 2007).

### 3.1.2 *A poluição Luminosa*

Pode-se definir a poluição luminosa como o excesso de luz artificial emitida de forma mal direcionada nos grandes meios urbanos. Esta, encontra-se em grandes prédios, estádios, postes de luz, outdoors e em vários outros meios que utilizam a iluminação artificial de forma ineficaz (AZEVEDO, 2013).

A poluição luminosa noturna afeta direta e indiretamente as zonas urbanas e através da difusão da luz na atmosfera, nas zonas circundantes, rurais e florestadas (BERNARDO 2020). Mesmo as zonas rurais tendem a ser cada vez mais iluminadas, diminuindo a área da Terra que é regulada exclusivamente pela iluminação natural do Sol.

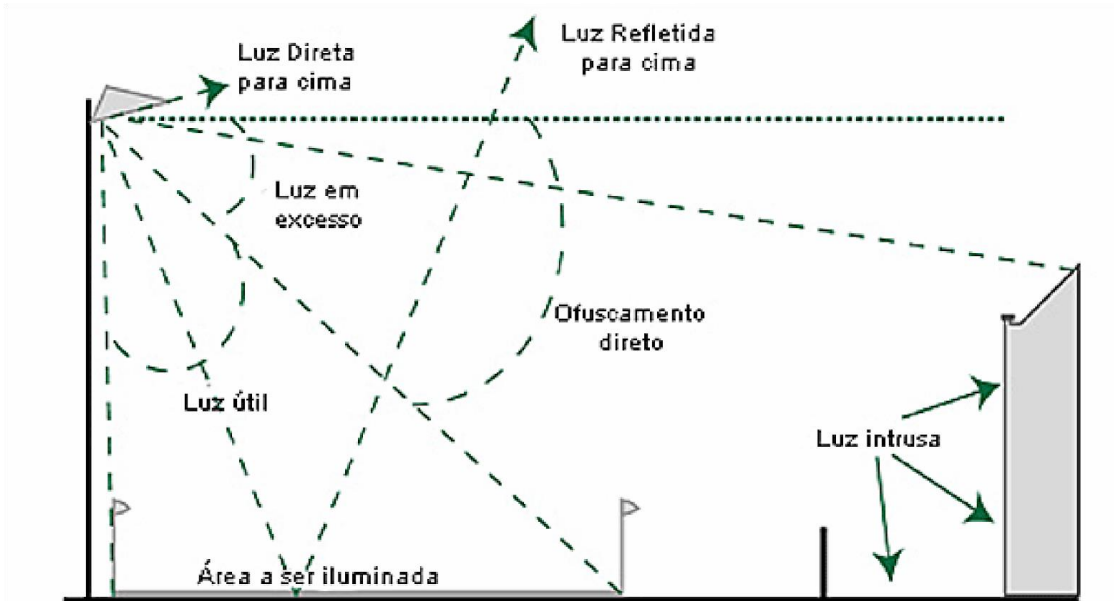
Além de prejudicar alguns animais e plantas, a poluição luminosa afeta diretamente os cofres públicos, uma vez que, com a iluminação artificial feita de forma inoperante, nos lugares que as luzes não estão iluminando, ou seja, poluindo, tem-se um desperdício de dinheiro e de recursos naturais muito grande. Até pouco tempo, a poluição luminosa era um problema ambiental pouco conhecido e debatido apenas por astrônomos (CRAWFORD e GENT, 2002). Com o aumento 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).

Cinzano et al. (2002), calcularam que mais de 99% da população dos Estados Unidos da América (EUA) e União Europeia (UE), e cerca de dois terços da população mundial, habita em áreas onde o brilho do céu noturno está acima do limite para se considerar poluído (brilho artificial 10% superior ao brilho natural para uma altura superior a 45°) (CASTANHO, 2009).

Com relação a poluição luminosa, existem três tipos que podem ser definidas como: brilho no céu (*Skyglow*), luz ofuscante (*Glare*) e luz intrusa (*Light Trespass*) conforme demonstrado na Figura 3.3 (NUNES & DOURADO, 2017).



**Figura 3.3** - Ilustração dos tipos de poluição luminosa causados pela propagação das luzes.



Fonte: Adaptado de House of Commons (2003).

O brilho no céu (*Skyglow*) é a luz que está sendo descuidadamente, ou às vezes deliberadamente, projetada do solo, de uma estrutura como um poste ou luminária diretamente para o céu noturno e posteriormente reduzindo a visibilidade de objetos astronômicos (MIZON, 2012). Este brilho é mais alaranjado visto sobre vilas e cidades. É causado pelo deslocamento da luz através da atmosfera sendo refratada ou espalhada por gotículas ou partículas de água (aerossóis) causados por poeira, pólen, partículas minerais e produtos residuais da indústria.

O brilho sobre áreas urbanas nem sempre é localizado e pode ser vista a muitos quilômetros ao redor, muitas vezes espalhando-se em áreas rurais escuras. Conforme destacado na Figura 3.4, este brilho do céu obscurece estrelas distantes, especialmente aqueles baixos no céu ou logo acima do horizonte, tornando-os invisíveis a olho nu (HOUSE OF COMMONS, 2003).

**Figura 3.4** - Brilho da cidade de Itajubá -MG



Fonte: G1.Globo (2018).

Já a luz ofuscante (*Glare*), consiste na luz que incide no olho, impedindo a pessoa de ver a cena iluminada corretamente, como por exemplo, um carro com faróis alto certamente deixará um motorista ou pedestre com a visão ofuscada quando se move em sentido contrário. Como mostrado na Figura 3.5, uma luz de um poste emitida de forma inoperante ofuscará e causará uma contração temporária, às vezes dolorosa dos músculos que controlam a íris, dificultando a visão das áreas ao redor da luz. O efeito pode causar cegueira momentânea e trazer riscos de segurança para motoristas que se deslocam rapidamente de áreas escuras para relativamente claras (HOUSE OF COMMONS, 2003).

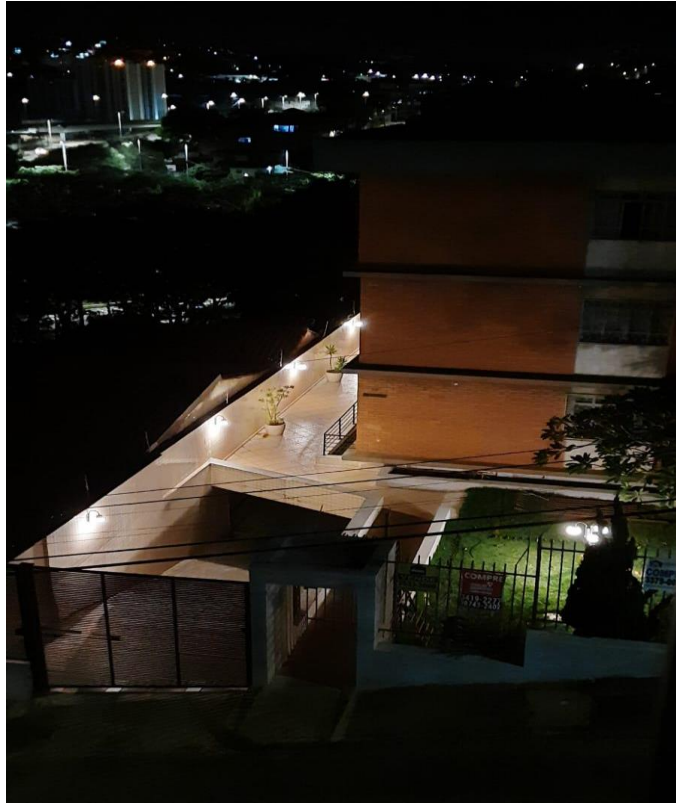
**Figura 3.5** - Ofuscamento das luzes em Belo Horizonte - MG.



Fonte: PBH,2018.

Por último, a luz intrusiva (*Light Trespass*), conforme é abordado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica (2012), é definida como a iluminação de um ambiente que invade o domínio do outro. Por exemplo, a luz que vem da rua e não permite que o quarto fique totalmente escuro durante a noite, bem como as luzes no interior das residências, que indevidamente escapam pelas janelas como mostrado na Figura 3.6. Esta forma de poluição é causada pela iluminação em parques de diversão, estacionamentos, monumentos públicos, campos de futebol, praças públicas, etc. que iluminam através de janelas e portas e invadem o interior das habitações, causando desconforto tanto a humanos como a animais e plantas, privando-os do descanso noturno (AZEVEDO et al., 2013).

**Figura 3.6** - Luz intrusiva provocada por iluminação ineficiente.



Fonte: Bairro Coração Eucarístico, Belo Horizonte, 2021.

### **3.2 Como analisar a Poluição Luminosa**

A poluição gerada pela iluminação artificial pode ser analisada de duas formas, quantitativa ou qualitativa. A análise desta problemática está diretamente relacionada aos parâmetros que podem ser quantificados (HÄNEL, 2018). Um desses parâmetros é a “irradiância”, que pode ser pensada como a quantidade total de radiação eletromagnética que incide sobre uma superfície. Imagine um local bem iluminado, pois bem, ele provavelmente tem um alto nível de irradiância. A sensação desagradável sentida ao olhar diretamente para uma lâmpada brilhante é devido ao grande brilho. Os espectrômetros medem a radiância (ou irradiância) em muitos comprimentos de onda diferentes (HÄNEL, 2018). A radiância descreve a potência radiante emitida ou refletida por unidade de ângulo sólido e por unidade de área da superfície emissora ou refletora projetada na direção do ângulo sólido. A unidade de radiância é o  $W m^{-2} sr^{-1}$ .

ILUMINÂNCIA (E) é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide; ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade é o LUX, definido como o iluminamento de uma superfície de 1 m<sup>2</sup> recebendo de uma fonte puntiforme a 1m de distância, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído. Já a LUMINÂNCIA é um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É através da luminância que o homem enxerga. Por definição luminância é a razão da intensidade luminosa (  $dI$  ), incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área da aparente vista pelo observador, quando esta área tende a zero (JECHOW,2019).

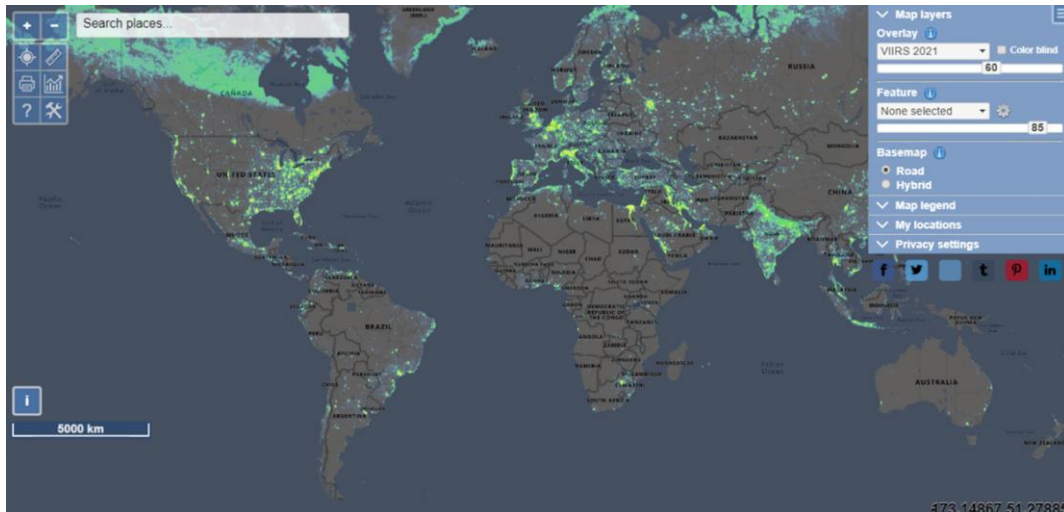
Tradicionalmente, o brilho do céu é medido pelos astrônomos no sistema de magnitude astronômica mag/arcsec<sup>2</sup> (magnitude por segundo de arco quadrado). A ideia por trás desse sistema é que, se uma área no céu contivesse exatamente apenas uma estrela de magnitude X em cada segundo de arco quadrado, o brilho do céu seria de X mag/arcsec<sup>2</sup> (HÄNEL, 2018).

A medição qualitativa, que é o foco deste trabalho, pode ser obtida através do sensoriamento remoto ao qual, com uma análise das combinações de cores, pode-se ter uma magnitude da poluição em uma determinada região com a utilização de dados primários através das imagens dos satélites VIIRS/DMSP. O Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) tem capacidades de imagem multibanda para apoiar a aquisição de imagens atmosféricas de alta resolução e geração de uma variedade de produtos aplicados, incluindo imagens visíveis e infravermelhas de furacões e detecção de incêndios, fumaça e aerossóis atmosféricos, (STAR Joint Polar Satellite System Algorithms, 2022). Já os satélites DMSP possuem características de detectar aspectos ambientais como nuvens, corpos de água, neve, fogo e poluição nos espectros visual e infravermelho. Os radiômetros de varredura registram informações que podem ajudar a determinar o tipo e a altura das nuvens, temperaturas da água terrestre e superficial, correntes de água, características da superfície oceânica, gelo e neve (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022).

Há também o software *Light Pollution Map*, que é um aplicativo de mapeamento que exhibe conteúdo relacionado à poluição luminosa sobre camadas de base do Microsoft Bing (mapas rodoviários e híbridos do Bing). Este *software* trouxe grande modernidade e contribuição para a análise da iluminação artificial. Uma demonstração de como o software opera, é

destacado na Figura 3.7, o qual destaca os brilhos das cidades vista de cima ao redor do mundo.

**Figura 3.7** - Poluição Luminosa no mundo, 2022.



Fonte: *Light pollution map* (2022).

### 3.3 Sensoriamento Remoto na Identificação da Iluminação Artificial

Algumas frações de luz de fontes terrestres escapam completamente da atmosfera e podem ser detectadas a partir da órbita da Terra. As primeiras detecções de sensoriamento remoto das "luzes noturnas" da Terra foram feitas na década de 1960, e a capacidade de detecção aumentou significativamente na década seguinte através da implantação de satélites no Programa de Satélites Meteorológicos de Defesa dos EUA (DMSP). Inicialmente gravando luzes noturnas em filmes fotográficos, o sistema começou a devolver dados digitais entre 1991 e 1992.

O Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) é um dos principais instrumentos ambientais de sensoriamento remoto a bordo da espaçonave Suomi National Polar-Orbiting Partnership, que foi lançada com sucesso em 28 de outubro de 2011 a partir da Base Aérea de Vandenberg, Califórnia. Após uma série de operações de ativação de naves espaciais e sensores, a porta VIIRS nadir foi aberta em 21 de novembro de 2011 (CAO, 2013).



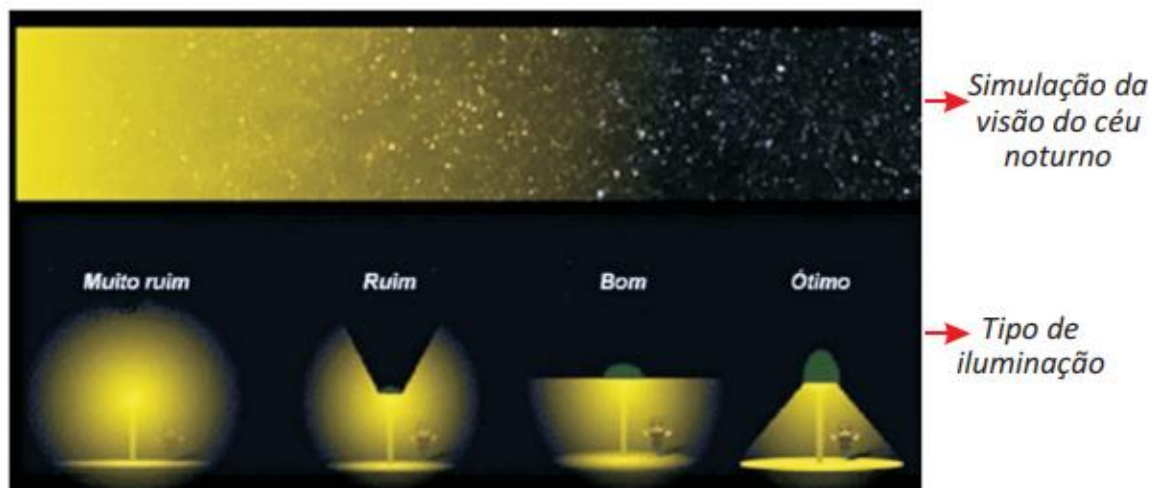
### 3.4 A Poluição Luminosa e Seus impactos

#### 3.4.1 A poluição Luminosa

De acordo com Gargaglioni (apud INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DAS CANÁRIAS, 2004), existem vários benefícios em se reduzir a poluição luminosa, entre eles a redução do consumo energético, proteção do meio ambiente noturno, redução das perturbações aos habitats naturais (animais, plantas e processos ecológicos), proteção das aves noturnas, mais segurança no tráfego noturno, aumento da segurança do transporte aéreo e marítimo e a melhora da qualidade das observações astronômicas.

Segundo o Laboratório Nacional de Astrofísica (2012) a iluminação adequada é aquela na qual a luz incide única e exclusivamente na área que precisa ser iluminada, durante o tempo no qual a iluminação é realmente necessária e utilizando lâmpadas que ofereçam a definição de cores adequada para a aplicação específica, como por exemplo é descrito na Figura 3.8, a qual observa-se quatro exemplos de modelos de luminárias – dois eficientes e dois ineficientes, que disseminam a luz acima da linha do horizonte.

**Figura 3.8** - Modelos de iluminação.



Fonte: Laboratório Nacional de Astrofísica (2012).

Como se pode observar na Figura 3.8, há uma diferença muito grande de iluminação na medida que as luminárias se tornam mais eficientes, como por exemplo a visibilidade do céu noturno. Pode-se perceber que as luminárias classificadas como “muito ruim” são aquelas de

tipo esféricas (globo), muito comum em praças e jardins. Esse modelo, muitas vezes, é utilizado apenas como um objetivo estético (GARGAGLIONI, 2007).

Para as luminárias classificadas como “ruim”, embora exista um anteparo impedindo a luz de ser direcionada diretamente para o céu, ainda há desperdício de energia, iluminação insuficiente e invasão da luz nas casas, podendo causar, aos moradores, dificuldades e transtornos para dormir. Nas luminárias classificadas como “bom” e “ótimo” já se consegue perceber uma redução de desperdício energético, uma vez que a iluminação está apontada para o solo, não para cima e nem para os lados. Na Figura 3.9, tem-se um claro exemplo da ineficácia das luminárias em formato de globo no jardim de uma residência. Quando ambas se encontram ligadas, não há como observar o céu noturno. Já, quando se encontram desligadas, pode-se observar a via láctea e todo o seu contraste (AZEVEDO et al., 2013).

**Figura 3.9** - Exemplo de luminária ineficiente.



Fonte: Exoss.org (2016).

Quando os modelos de iluminação são direcionados de forma inadequada e ineficiente, uma parcela da luz é enviada desnecessariamente para o céu e ou para as laterais. E a área que realmente deveria receber a luz é iluminada inadequadamente. Quando o planejamento do sistema de iluminação é realizado, a luminária direciona a luz única e exclusivamente para a



área onde ela realmente deve iluminar, que é o chão, as ruas e as pessoas que por ali trafegam. Como é demonstrado na Figura 3.10, a luminária esférica é a mais ineficiente e poluente, devendo ser evitada a todo custo nos projetos de iluminação.

**Figura 3.10** - Modelos de luminárias eficientes ou ineficientes.



Fonte: Laboratório Nacional de Astrofísica (2012).

O assunto da poluição luminosa é tão complexo, que de nada vale luminárias eficientes quando não se tem lâmpadas eficientes. Não é de hoje que se sabe o quão retrógrado é a utilização das lâmpadas incandescentes. As lâmpadas incandescentes estão entre as piores escolhas, pois são caracterizadas pelo alto consumo de energia, baixa eficiência e baixo tempo de vida. Já as lâmpadas de vapor metálico são utilizadas quando o objetivo é um alto rendimento de cores. Exemplo, estádios de futebol, grandes eventos etc (GARGAGLIONI et al, 2012).

As lâmpadas de iluminação pública são tipicamente de três tipos: vapor de mercúrio (VM), vapor de sódio de alta pressão (VSAP) e vapor de sódio de baixa pressão (VSBP) (CASTANHO, 2009). Conforme é destacado por Dominici e Gargaglioni (2012), para os sistemas públicos de iluminação, as lâmpadas mais eficientes são a de vapor de sódio de alta e baixa pressão, que têm um tempo de vida longo, baixo consumo de energia e ótima eficiência quando comparada aos outros modelos. Em particular, as lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão oferecem a melhor eficiência e o menor consumo de energia. Emitem em apenas uma pequena faixa do espectro visível, por isso tem baixíssimo rendimento de cores. São ideais para estacionamentos e vias públicas. As lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão são extremamente nocivas, tanto do ponto de vista da poluição luminosa

quanto pelo alto consumo de energia e grande risco de contaminação ambiental após o seu descarte. Já as lâmpadas de LED têm sido apontadas como uma solução para o futuro da iluminação externa, uma vez que estas consomem pouca energia e são intrinsecamente direcionadas.

### 3.4.2 Impacto Social

O ser humano é totalmente dependente da luz, uma vez que a luz do sol é responsável por fornecer a energia necessária para a fotossíntese das plantas, que é base da cadeia alimentar e que garante a sobrevivência não somente dos vegetais como também dos animais.

Na medida que a sociedade foi evoluindo, em especial com o avanço tecnológico, o acesso a equipamentos de iluminação como tablets, celulares e computadores, ficaram cada vez mais presentes no dia a dia da sociedade moderna. Com a grande quantidade de tipos de iluminação que foram surgindo, as horas de sono noturnas foram diminuindo devido às noites terem se tornando menos escuras. Neste processo evolutivo, o ritmo de vida das pessoas foi se modificando, a criação de novos hábitos foram surgindo e a qualidade do sono noturno diminuindo.

Até mesmo as zonas rurais tendem a ser cada vez mais iluminadas, diminuindo a área da Terra que é regulada exclusivamente pela iluminação natural do Sol. A Via Láctea não é visível para mais de um terço da humanidade, incluindo 60% dos europeus e quase 80% dos norte-americanos. (BERNARDO, 2020)

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

Em relação à saúde e ao impacto social, é comprovado o efeito da poluição luminosa no aumento da incidência e desenvolvimento de alguns tipos de câncer. Conforme é destacado por (GARGAGLIONI, 2012) a presença de luz inibe fortemente a produção de melatonina. A redução deste hormônio tem sido altamente correlacionada com o aumento do risco de câncer de mama.

Essa teoria é fundamentada em uma série de estudos em humanos e animais. De forma interessante, observações epidemiológicas demonstraram um baixo índice de câncer de mama em mulheres cegas e um alto índice em mulheres que

trabalham em turnos invertidos. Em adição à iniciação do câncer, existem também evidências que a exposição excessiva à luz durante a noite pode acelerar o crescimento de tumores já estabelecidos. Afetando uma parcela mais ampla da população, a poluição luminosa pode promover cansaço visual, causando sonolência, dor de cabeça e estresse. (GARGAGLIONI et al, 2012, p.4)

O aspecto interessante sobre a poluição luminosa a ser abordado, é que, a luz da vizinhança afeta o ciclo do sono causando noites mal dormidas pois afeta o sono dos vizinhos que estão tentando dormir e, apesar de terem apagado a luz de suas casas, sofrem interferência da luz que vem de fora das suas casas. Noites mal dormidas interferem no funcionamento saudável do organismo (MIZON, 2012).

Jasser, Blask e Brainard (2006) postulam que o aumento do risco de câncer de mama em trabalhadoras do turno da noite resulta da supressão da produção de melatonina pineal pela exposição à luz no período noturno. De acordo com Dorremochea (2011), a iluminação artificial modifica o ritmo circadiano do ser humano e inibe a produção do hormônio melatonina (um fenômeno provocado especialmente pela luz branca e intensa). As doenças possivelmente ocasionadas pela luz artificial não são causadas apenas pelo fato de as pessoas ficarem constantemente expostas a uma iluminação, mas também ao fato da poluição luminosa que invadem as residências e, posteriormente, causa insônia, irritabilidade, estresse e contribui para a redução da defesa natural do organismo contra o surgimento de tumores malignos e de enfermidades degenerativas. O mesmo autor também destaca a possibilidade de surgimentos de epidemias, visto que muitos insetos atuam como vetores e, o fato de a poluição luminosa atraírem insetos para o meio urbano. De forma reflexiva é possível projetos de iluminação, desde que a iluminação seja direcionada para onde ela realmente deve ser direcionada, nos casos de vias públicas por exemplo, para o chão.

### 3.4.3 Impacto Ambiental

Como já definido, a poluição é ocasionada pela iluminação artificial de forma excessiva e mal direcionada. Quando esta problemática veio à tona, apenas os astrônomos se preocuparam com a crescente poluição visual, que os impedia de observar o céu noturno. Com a intensificação da poluição, logo, passaram a surgir indícios de que a iluminação artificial intensa poderia também levar a fortes alterações na biota.

À princípio, surgiram apenas relatos de experiências pessoais destas alterações, como relatos anedóticos, sem testes científicos: aves que, no Hemisfério Norte, antecederam a época da

postura, filhotes de tartaruga que, na eclosão dos ovos, se orientam em direção à terra e não ao mar, tornando-se presa fácil (BARGHINI, 2010).

No ambiente noturno, os animais naturalmente são guiados pela iluminação refletida das estrelas e da lua, no entanto, com a expansão da sociedade moderna com suas grandes cidades iluminadas, os ciclos migratórios, alimentares e reprodutivos de diversas espécies de animais são ofuscados devido à iluminação excessiva e mal direcionada. Um dos exemplos mais conhecidos da poluição luminosa nos animais é o dos filhotes de tartarugas marinhas que saem dos seus ninhos nas praias. Os filhotes de tartarugas marinhas em muitas áreas do mundo emergem dos ovos que as mães se deitaram sob a areia de praias cuidadosamente selecionadas. Os filhotes seguem o reflexo da luz da Lua e das estrelas (o horizonte mais brilhante). Desde que a água reflete a luz (mesmo à luz das estrelas), o oceano é geralmente a coisa mais brilhante que os filhotes veem.

Normalmente, os filhotes movem-se no sentido contrário dos ambientes escuros e baixos e vão em direção ao oceano, sutilmente iluminado pelas estrelas e a Lua. Com a presença de luzes artificiais na praia, os filhotes não conseguem diferenciar os ambientes, resultando em desorientação. (GARGAGLIONI et al, 2012, p.3)

Muitos animais têm atividades noturnas. Muita luz à noite pode prejudicar vagalumes, mamíferos e pássaros. Estudos têm mostrado que devido ao excesso de luz à noite, algumas espécies de insetos estão abandonando seu habitat natural. O impacto da poluição luminosa é tão grande que se estima que seja o principal culpado pelo declínio da biodiversidade mundial.

Mizon (2012) ressalta que o impacto da poluição luminosa em várias espécies ocasiona a alteração do ecossistema, pois altera o ciclo diurno-noturno de várias espécies. Estes são essenciais para a manutenção de qualquer ecossistema, o que pode aumentar o risco de extinção de certas espécies. Assim como alguns animais aquáticos atraídos pela luz artificial, estes podem ser atacados por mais predadores (MIZON, 2012).

A poluição impacta severamente os animais que vivem em torno dos arredores de centros urbanos, prejudicando-os em vários aspectos. Esta problemática criada pelo homem pode, de fato, levar os animais a comportarem-se de forma inapropriada, pondo em risco a sua segurança e sobrevivência e perturbando até o equilíbrio ecológico. Perante a presença de luz artificial durante a noite, os animais podem manifestar comportamentos anormais, como alterações nos ritmos biológicos, na orientação e na migração, bem como em atividades básicas como a busca de nutrição, o acasalamento e consequentemente a reprodução. A

intensidade, o espectro e a polarização da luz exercem efeitos distintos conforme a sensibilidade de cada espécie animal e o tipo de funcionalidade que nela estimulam. (BERNARDO, 2020, p.148).

Como é destacado na Figura 3.11, assim que as tartarugas eclodem, elas seguem em direção da luz, neste caso, como há uma iluminação artificial, elas são atraídas pela luz artificial e não conseguem chegar ao mar, impedindo a sua sobrevivência.

**Figura 3.11** - Tartarugas sendo guiadas pela iluminação artificial



Fonte: Laboratório Nacional de Astrofísica, (2012).

Invertebrados também podem sofrer os efeitos da poluição luminosa, particularmente insetos como as mariposas, que são atraídas pela luz. As lâmpadas de iluminação pública atraem insetos, principalmente as lâmpadas de mercúrio em detrimento das lâmpadas de sódio (EISENBEIS e HASSEL, 2008).

No começo dos anos 1960, por causa da poluição do ar e, principalmente no campo, por causa da poluição da água os vaga-lume começaram a desaparecer. O fenômeno foi fulminante e fulgurante. Após poucos anos os vaga-lumes não existiam mais.” Sem sabê-lo, Pasolini, estava apontando o efeito da difusão massiva da iluminação artificial sobre a vida silvestre (BARGHINI, 2010, p.16)

A poluição luminosa altera o período de floração de plantas, comprometendo o balanço natural na produção de frutos e de outros alimentos. Em 1932, um experimento com tomateiros adicionando à luz visível, luz infravermelha de pequenos comprimentos de onda verificou que os tomateiros ficavam maiores e mais pesados, mas menos saudáveis, revelando sinais de amarelecimento e um decréscimo de clorofila, chegando mesmo, em alguns casos, a definharem (BERNARDO, 2020).

Centenas de espécies de aves migram tipicamente durante a noite e sabe-se que os incêndios e a iluminação artificial atraem as aves migratórias, fato esse que é conhecido desde 1883 (ROMANES, 1883). Estudos em aves marinhas revelam que estas são atraídas pela luz artificial provenientes da costa iluminada, plataformas petrolíferas, faróis e instalações de captura piscícola por luz. Esta alteração de comportamento é menor durante os períodos de Lua Cheia que nos períodos de Lua Nova, isto é, é mais significativa quando a luz artificial se torna mais saliente (MONTEVECCHI, 2006; KLINKENBORG, 2008)

#### 3.4.4 Impacto Econômico

Na medida que a iluminação artificial é emitida de forma excessiva e mal direcionada, conseqüentemente há uma contribuição para o desperdício energético. Tal fenômeno é o resultado do mau planejamento dos sistemas de iluminação. Uma das grandes vantagens da conscientização para o planejamento desses sistemas é a economia de energia elétrica, visto que existe grande desperdício de energia pela escolha inadequada da iluminação dos municípios. Segundo balanço energético nacional de 2021, 64,9% da energia consumida no Brasil é de fonte hidráulica. Como o Brasil é um país extremamente dependente das hidrelétricas para a geração de energia e as mesmas dependem também de períodos de boas taxas pluviométricas para que se possa manter os reservatórios e bacias abastecidos, otimizar as iluminações públicas e o consumo energético consciente é um fator importante para o desenvolvimento sustentável e para o não desperdício de recursos naturais.

De acordo com a *International Dark-Sky Association* (IDA) a iluminação excessiva e mal direcionada é um desperdício.

A IDA estima que pelo menos 30% de toda a iluminação ao ar livre nos EUA é desperdiçada, principalmente por luzes que não são protegidas. Isso soma US\$ 3,3 bilhões

e a liberação de 21 milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano! Para compensar todo esse dióxido de carbono, teríamos que plantar 875 milhões de árvores por ano.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Para a construção do presente trabalho, foi necessário a utilização do Software Qgis 3.22.8, *Light Pollution Maps* e dados do satélite VIIRS.

### 4.2 Métodos

O método baseou-se em uma orientação teórica sobre a poluição luminosa, assim como uma análise qualitativa que foi possível através de dados fornecidos por satélites sensor *VIIRS*, bem como a manipulação dos mesmo através do *software Qgis* para a produção de mapas que possam ilustrar, através da variação de cores as regiões com maior grau de poluição luminosa na cidade de Belo Horizonte. Estes dados foram primordiais para a construção dos mapas em linha cronológica destacando a evolução da iluminação noturna na cidade. Como complemento para mapa produzido no Qgis, utilizou-se o software *Light Pollution Map*, que possui capacidade de detectar automaticamente o grau de poluição luminosa em uma determinada região.

A cidade de Belo Horizonte é um município brasileiro localizado em Minas Gerais que é a capital do estado. Sua população estimada pelo IBGE (2021) era de 2.530.701 habitantes, sendo o sexto município mais populoso do país, o terceiro da Região Sudeste e primeiro de do estado. Com uma área de aproximadamente 331 km<sup>2</sup>, possui uma geografia diversificada, com morros e baixadas com cobertura vegetal que faz parte do bioma Mata Atlântica com transições para o bioma cerrado.

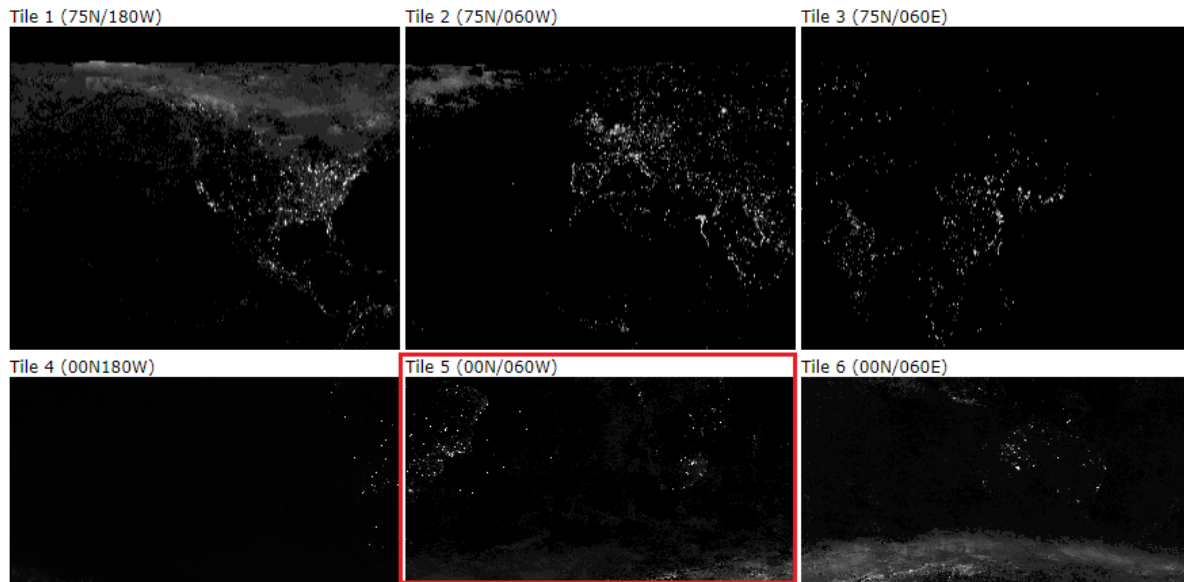
Ao iniciar a pesquisa, foi fundamental a revisão bibliográfica para o aprofundamento ao tema poluição luminosa, entre as literaturas, destaca-se autores como Alessandro Barghini, Saulo Gargaglioni, e Maria Cristina Azevedo. Após a revisão de literatura, iniciou-se a análise qualitativa por meio de softwares.

Para iniciar a análise dos dados, foram extraídos dados do *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Ladrilho 5 (00 N/060W) referentes ao satélite *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)* que é mostrado na Figura 4.1. Dados esses, foram inseridos no Qgis 3.22.8 como camada raster, em sequência, extraiu-se os dados em camada vetorial da cidade de Belo Horizonte dos bairros disponibilizados pelo *BHMAP*. O *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)* tem capacidades de imagem multi-banda para



apoiar a aquisição de imagens atmosféricas de alta resolução e geração de uma variedade de produtos aplicados, incluindo imagens visíveis e infravermelhas de furacões e detecção de incêndios, fumaça e aerossóis atmosféricos (STAR JPSS, 2022).

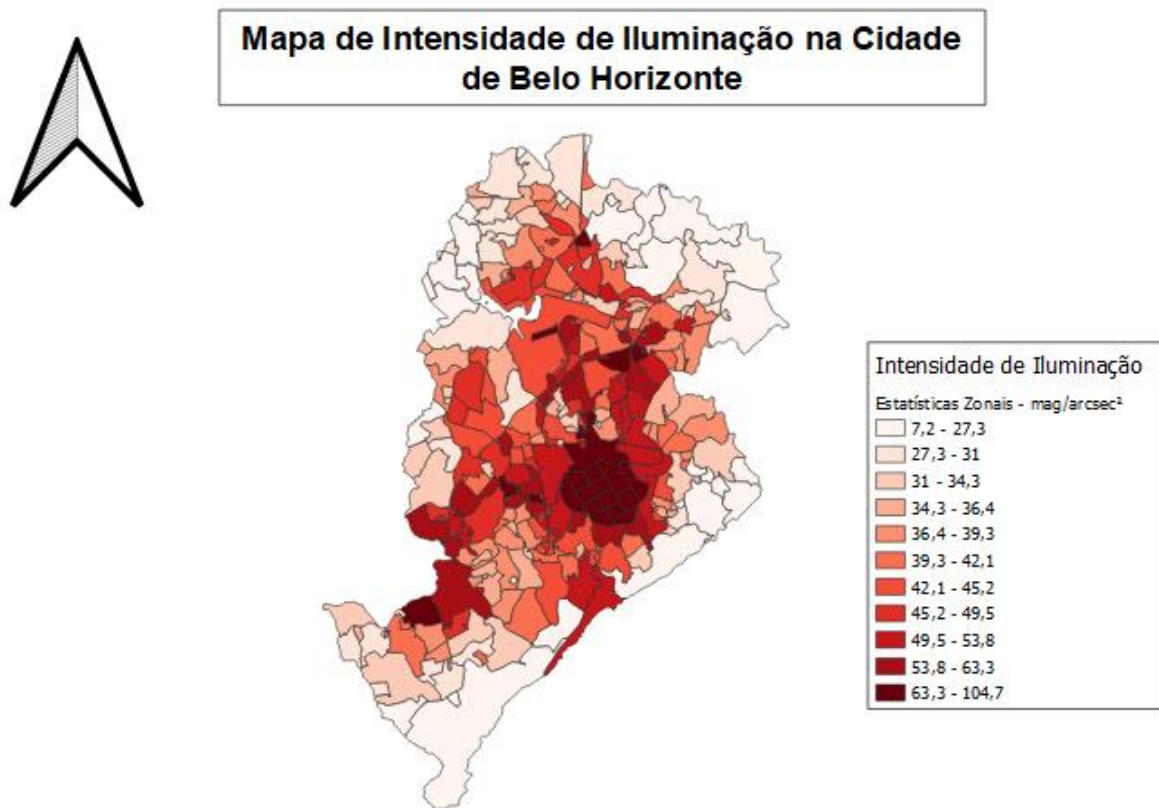
**Figura 4.1** - Mosaico Diário VIIRS



Fonte: NOAA, (2022).

Com a manipulação dos dados no *Qgis*, conforme destacado na Figura 4.2, relacionou-se a uma camada *raster* com uma camada *vetorial* do conjunto de bairros de Belo Horizonte. Desta forma foi possível ter uma perspectiva dos locais com maior radiância. Outro mapa foi produzido, conforme destacado na Figura 5.4, porém utilizando os dados VIIRS brutos em formato h5 em grade de 10 x 10 graus.

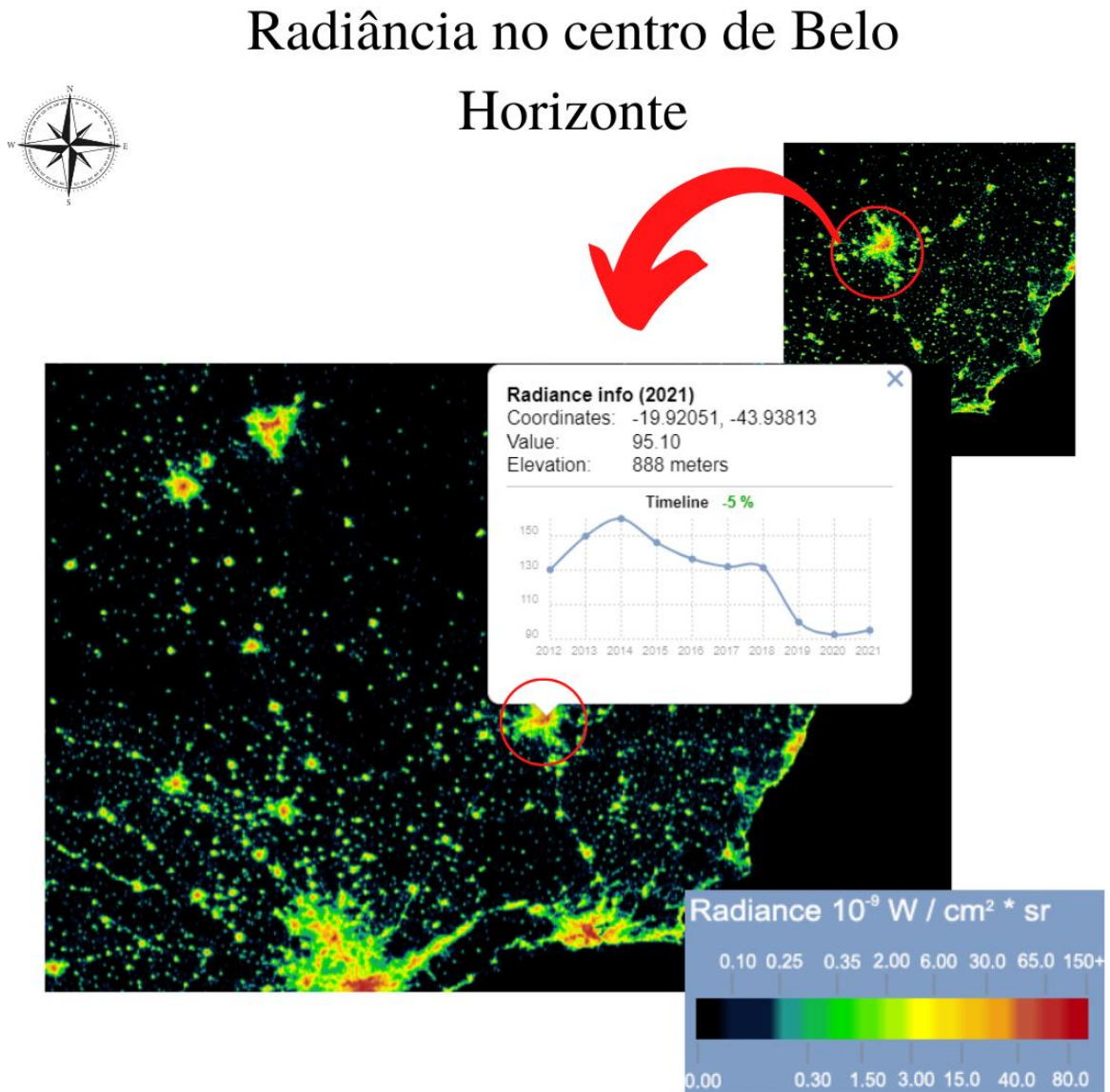
**Figura 4.2 - Mapa da intensidade de Luz**



Fonte: Autor, (2022).

As regiões com maior intensidade de cores, remetem ao brilho superficial. Em seguida, teve-se o segundo passo que foi analisar os níveis de iluminação artificial pelo *software light pollution map*. Este aplicativo, é um sistema de mapeamento da poluição luminosa que exhibe conteúdo relacionado à poluição luminosa sobre camadas de base do Microsoft Bing (mapas rodoviários e híbridos do Bing). Uma outra funcionalidade do *software* é a opção de inserir um ponto e em seguida ter informações de radiância, coordenadas e elevação daquela região conforme aponta a Figura 4.3.

**Figura 4.3** - Radiância no Centro de Belo Horizonte.



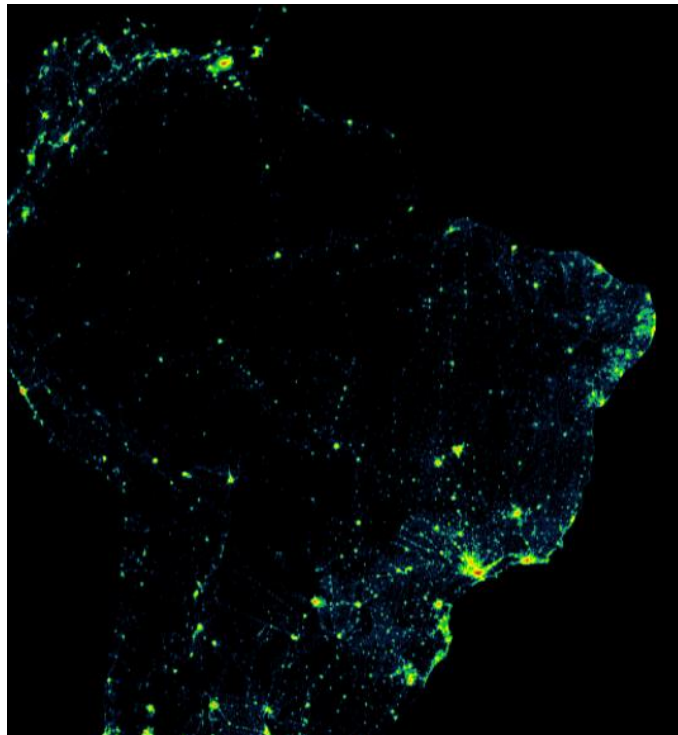
Fonte: *Ligh Poluition Maps*, (2022).

A radiância é obtida a partir do medidor de qualidade do céu que está graduado numa escala de magnitudes por segundo de arco quadrado ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ) tendo uma resposta logarítmica à luminosidade que detecta aquele espectro de luz como o olho humano. Este medidor tem um valor máximo de  $22 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ , valor que corresponde ao brilho do céu num local que diste pelo menos de 150 km de uma grande cidade e sem iluminação num raio de vários quilómetros (CASTANHO, 2009).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a Figura 5.1, pode-se perceber a intensidade dos pontos de coloração das bandas verde, amarelo e vermelho em várias regiões do Brasil, com destaque na região sudeste. Assim como foi destacado por (CASTANHO,2009), a poluição luminosa é considerada um efeito colateral da industrialização e mais intensa em áreas densamente povoadas e fortemente industrializadas. Segundo o (IBGE, 2017, a região sudeste é a mais populosa do Brasil seguida do nordeste, fato esse que são das duas regiões com maior intensidade de brilho destacado no **Figura 5.1**.

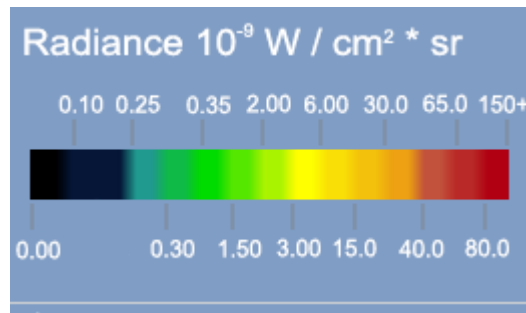
**Figura 5.1** - Mapa de poluição luminosa no Brasil.



Fonte: *Light pollution map*, (2022).

A partir da utilização do *Software Light Pollution Map*, iniciou-se pesquisando pelo nome da cidade de Belo Horizonte, através desta pesquisa,foi possível analisar os níveis de poluição que há na cidade. Como demonstrado na Figura 5.2, a interpretação e análise das cores foi primordial para a pesquisa.

**Figura 5.2** - Escala de cores da Poluição Luminosa.

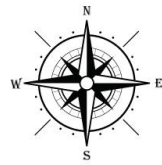


Fonte: light pollution map (2022).

O *software* tem a opção de delimitar a área de interesse “Area information using a polygon” que exibe estatísticas da camada VIRS/WA visível que cruza o polígono desenhado, no entanto, para ser mais preciso na delimitação do mapa de poluição, utilizou-se o Qgis combinando a camada raster e o vetor dos bairros de Belo Horizonte, bem como o *Software Light Pollution Map* como comparativo conforme mostra a Figura 5.3.

Como foi dito anteriormente, com ajuda do *software*, utilizando algumas limitações, pode-se perceber que as regiões com maior grau de poluição luminosa (em vermelho) na cidade, situam-se na região central e em principais avenidas como Amazonas, Via Expressa, Antônio Carlos e Cristiano Machado. Na Figura 5.3 tem-se o mapa da região com maior intensidade de radiação em Belo Horizonte, destacando os detalhes de localização como por exemplo nome de avenidas e bairros.

**Figura 5.3** - Mapa da cidade de Belo Horizonte e suas localizações.



## Cidade de Belo Horizonte

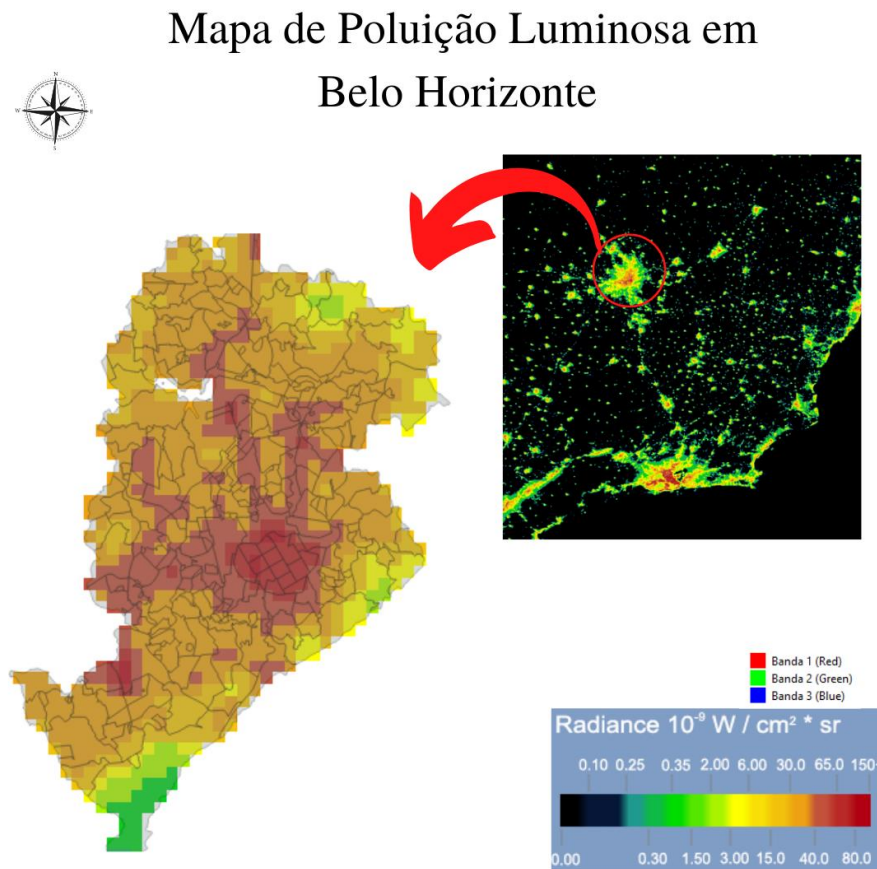


Fonte: Autor, 2022

Na medida que se distancia da região central de Belo Horizonte, percebe-se uma diminuição do grau de poluição luminosa, bem como é destacado na Figura 5.3.



**Figura 5.4** - Região de maior concentração da poluição luminosa em Belo Horizonte.



Os bairros que tiveram mais destaque foram os bairros que se situavam em torno da região central. Vale levar em consideração, conforme mostra a Figura 5.3, que nem todos os bairros com alto índice de poluição luminosa foram analisados, pois a ideia da pesquisa é evidenciar e analisar a poluição luminosa na cidade de Belo Horizonte há poluição luminosa. Desta forma, seguindo a análise qualitativa dos mapas, percebe-se um alto nível de iluminação mal direcionada e excessiva em alguns bairros da capital mineira, em especial nos bairros listados na Figura 5.4.

**Figura 5.5** - Quadro ilustrativo do índice da poluição luminosa em alguns bairros de Belo Horizonte.

<b>Bairros</b>	<b>Indicativo de poluição Luminosa (Escala de Cores)</b>
Santa Efigênia	Vermelho
Savassi	Vermelho
Santa Tereza	Vermelho
Sagrada Família	Vermelho
Floresta	Vermelho
Boa Viagem	Vermelho
Gameleira	Vermelho
Alto Pinheiros	Vermelho
Barreiro	Vermelho

Fonte: Autor, 2022

Com o levantamento dos dados de poluição luminosa em algumas regiões da cidade de Belo Horizonte, em especial na região central, fica nítido a presença de um modelo de iluminação ineficaz.

É dito que Belo Horizonte é uma cidade referência em sustentabilidade e meio ambiente, uma vez que se destaca em práticas de conservação de áreas verdes e com políticas de enfrentamento das mudanças climáticas. A PBH (2021) destacou que Belo Horizonte obteve o 5º lugar entre municípios brasileiros com mais de 1 milhão de habitantes no último ranking relacionado ao cumprimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). A informação consta no Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (Brasil IDSC-BR), lançado no último dia 24 pelo Programa Cidades Sustentáveis (PCS) e pela Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável (Rede SDSN Brasil). A capital mineira também apresentou um conjunto importante de indicadores com metas já cumpridas segundo os parâmetros utilizados pelo IDSC, tais como: Energia Limpa e Acessível (ODS 7), medido pelo acesso domiciliar à energia elétrica; o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), com os indicadores de investimento público em infraestrutura com relação ao PIB e participação de empregos nos campos de conhecimento e tecnologias; Ação Contra a Mudança do Clima (ODS 13), medido pelos indicadores de emissão de CO<sub>2</sub> e percentual do município desflorestado; e pelo ODS 14 (Vida na Água), com o indicador de esgoto tratado.

Mas ao adentrar no tema de poluição luminosa, fica evidente que a cidade possui um alto



índice de poluição luminosa, uma vez que esta problemática ocasiona diversos impactos ambientais, sociais e econômicos, indo então, em contra partida ao desenvolvimento sustentável.

## 6 CONCLUSÕES

No presente estudo foi possível analisar de forma qualitativa os índices de poluição luminosa na cidade de Belo Horizonte com base em um estudo de revisão bibliográfica para o aprofundamento ao tema, bem como com a produção de mapas e softwares de sensoriamento remoto. Diante disso, infere-se que há um alto índice de poluição luminosa em algumas regiões de Belo Horizonte devido.

Falar de poluição luminosa não é simplesmente falar de uma iluminação ineficiente, mas sim abordar seus impactos e as consequências de modo geral. É eminente que a poluição luminosa está associada ao desenvolvimento e aumento da urbanização nas grandes cidades. É eminente e importante a adequação das cidades no que tange esse assunto. Modificar e alterar lâmpadas convencionais, bem como a adequação e substituição de luminárias com direcionamento eficaz já oferece grandes resultados. Este trabalho foi uma experiência muito importante que pode contribuir no futuro para a melhoria da iluminação pública na capital mineira. Espera-se que com este trabalho e esse assunto ganhe mais força no combate à poluição luminosa, em especial na cidade de Belo Horizonte.

Através desta pesquisa fica claro que é importante novas adequações, em especial nas grandes avenidas e no grande centro de Belo Horizonte. A utilização do *software Light pollution map* foi primordial na construção deste trabalho. Pode-se perceber que, na medida que nos distanciamos do grande centro, a radiância vai diminuindo, passando de vermelho para amarelo. Pode-se perceber também, que nas extremidades da cidade de Belo Horizonte, como por exemplo a serra do curral, o índice de poluição luminosa já é menor devido ao distanciamento do grande centro urbano.

Vale ressaltar que, após apresentar diversos resultados, é necessário mais estudo aprofundado ao tema, como por exemplo um estudo de valoração ambiental da poluição luminosa, de modo que venha a valorar os impactos que a iluminação ineficaz gera.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

- Desenvolver novas pesquisas aprofundado nos impactos causados no município devido a poluição luminosa;
- Criação de uma norma municipal para a regulamentação da Poluição Luminosa;
- Criação de um projeto de valoração ambiental;
- Novos estudos utilizando técnicas avançadas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

## REFERÊNCIAS

Atendimento de serviços de iluminação pública será por 0800. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/atendimento-de-servicos-de-iluminacao-publica-sera-por-0800>>. Acesso em: 1 jul. 2022

AZEVEDO, Maria Cristina Xavier et al. Mapeamento da poluição luminosa do bioma cerrado. 2013.

BARGHINI, Alessandro. Antes que os vagalumes desapareçam ou influencia da iluminação artificial sobre o ambiente. São Paulo: Annablume, 2010.

BARGHINI, Alessandro; DE MEDEIRO, Bruno. A iluminação artificial e o impacto sobre o meio ambiente. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), n. 05, p. 4-15, 2006.

Belo Horizonte. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Belo\\_Horizonte#/media/Ficheiro:Belo\\_Horizonte\\_at\\_night.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Belo_Horizonte#/media/Ficheiro:Belo_Horizonte_at_night.jpg)>. Acesso em: 1 jul. 2022.

BERNARDO, Luís Miguel. Luz, Vida e Saúde. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2020.

Belo Horizonte se destaca no cumprimento de metas da ONU. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/belo-horizonte-se-destaca-no-cumprimento-de-metas-da-onu>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

BH Map - Visualizador. Disponível em: <[https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=1&lat=7799254.04428&lon=609601.38134&baselayer=base&layers=distrito\\_municipal%2Climite\\_bh](https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=1&lat=7799254.04428&lon=609601.38134&baselayer=base&layers=distrito_municipal%2Climite_bh)>. Acesso em: 15 jul. 2022.

BLASK, David E. et al. Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats. Cancer research, v. 65, n. 23, p. 11174-11184, 2005.

Brasil tem que se preparar para reciclar as lâmpadas fluorescentes compactas. Disponível em: <<https://www.funverde.org.br/blog/brasil-tem-que-se-preparar-para-reciclar-as-lampadas-fluorescentes-compactas/>>. Acesso em: 8 jun. 2022.

CAO, Changyong et al. Early on-orbit performance of the visible infrared imaging radiometer suite onboard the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (S-NPP)

satellite. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 1142-1156, 2013.

CASTANHO, Jacinto António Rolha. POLUIÇÃO LUMINOSA O concelho de Coruche como exemplo. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, Portugal, 2009.

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: Acesso em: 25 ago. 2021.

DA COSTA, Gilberto José Corrêa. Iluminação econômica: cálculo e avaliação. Edipucrs, 2006.

DOMINICI, T.; GARGAGLIONI, S. Identificação e Combate à Poluição Luminosa. Laboratório Nacional de Astrofísica, Itajubá, 2012

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

DURISCOE, Dan M. et al. A simplified model of all-sky artificial sky glow derived from VIIRS Day/Night band data. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 214, p. 133-145, 2018.

EISENBEIS, G. & F. HASSEL, F., Attraction of nocturnal insects to street lights – a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen (Germany), *Natur und Landschaft*, 75(4):145-156), 2000

FALCHI, Fabio et al. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, v. 2, n. 6, p. e1600377, 2016.

FLICK, Uwe. Desenho da pesquisa qualitativa. In: Desenho da pesquisa qualitativa. 2009.

GARGAGLIONI, S. R. Análise legal dos impactos provocados pela poluição luminosa do ambiente. 2007. 106 f. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia da Energia) -Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

GARGAGLIONI, Saulo. Poluição luminosa e a necessidade de uma legislação. *ComCiência*, n. 112, p. 0-0, 2009.

HADDAD, J., & YAMACHITA, R. A., Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. ELETROBRÁS/PROCEL, Ed. EFEI, 3a Edição, Itajubá,

Brasil, 2001.

HÄNEL, Andreas et al. Measuring night sky brightness: methods and challenges. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 205, p. 278-290, 2018.

HOUSE OF COMMONS SCIENCE & TECHNOLOGY COMMITTEE et al. Light pollution and astronomy. London: House of Commons Science & Technology Committee, 2003.

**IBGE, cidades.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>. Acesso em: 11 jul. 2022

ILUMINAÇÃO led: principais benefícios, BNDES, 2017. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/iluminacao-led>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

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: <Luz durante a escuridão e o câncer: relacionamentos em fotorecepção circadiana e biologia tumoral | SpringerLink>. Acesso em: 9 agosto de 2021.

JECHOW, Andreas; KYBA, Christopher CM; HÖLKER, Franz. Beyond all-sky: assessing ecological light pollution using multi-spectral full-sphere fisheye lens imaging. **Journal of Imaging**, v. 5, n. 4, p. 46, 2019.

KLINKENBORG, VERLYN, A noite desvanecente, National geographic, Portugal, nº 93, Dezembro 2008, p.80

Miscellaneous Collections, Vol. 96, n.º 2, pp. 1–8.

MARTINS, ana paula; PORTO, maria. A LUZ, SUA HISTÓRIA E SUAS TECNOLOGIAS: CURSO DE ATUALIZAÇÃO PARA PROFESSORES DA EDUCAÇÃO BÁSICA. Rio de Janeiro, 2018

MIZON, Bob. Light pollution: responses and remedies. Springer Science & Business Media, 2012.

MONTEVECCHI, M. A., Influences of artificial light on Marine Birds in Rich, C., Longcore, T., Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, Island Press, Washington, 2006

NUNES, Inês de Oliveira; DOURADO, Luís Gonzaga Pereira. Poluição luminosa e educação ambiental: um estudo de caso em camarate, lisboa. 2017.

**NOAA/NCEI - Earth Observation Group - Defense Meteorological Satellite Program, Boulder.** Disponível em:

<[https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_dnb\\_composites.html](https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html)>. Acesso em: 8 jul. 2022

Quão ruim é a poluição luminosa? – EXOSS Citizen Science Project. Disponível em: <<https://press.exoss.org/quao-ruim-e-poluicao-luminosa/>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

ROMANES, G. J., 1883, Mental evolution in animals, Kegan, Paul, Trench & Co., London cit. Catherine Rich, Travis Longcore, Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, Island Press, Washington 2005, p. 67.

TOMANIK, Geny Brillas; BASTOS, Sênia Regina. Um patrimônio da humanidade ameaçado: o céu noturno. Anais do IX Seminário da ANPTUR-Turismo e Patrimônio, p. 1-13, 2012.

VIGO, G. E. M. de. Contemplando la noche a buena luz. Revista Física y Sociedad, nº 21, jun. 2011. Disponível em: <Layout 1 (cofis.es)>. Acesso em: 10 dez.. 2021.