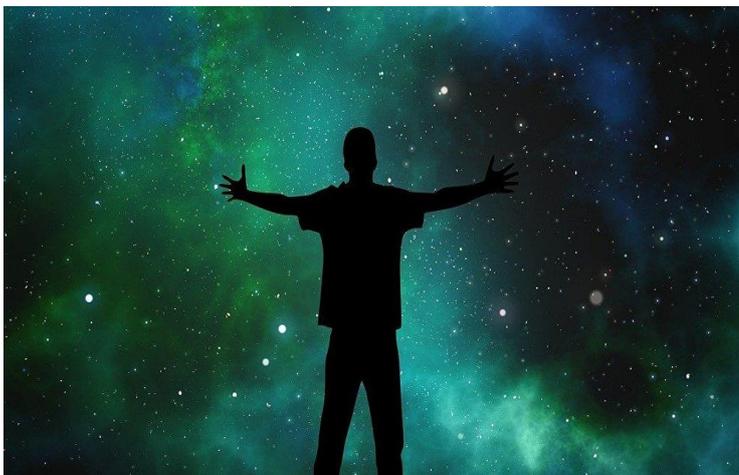


# O QUE EXISTE NO UNIVERSO?



**Igor Bellucio Santos**



Olá! Você já olhou para o céu hoje? Ao longo da história, o homem desenvolveu um certo fascínio sobre os elementos da natureza, principalmente o céu. Todos nós um dia já paramos para observar o céu, seja durante o dia ou à noite. É fascinante poder observar os fenômenos atmosféricos se iniciando, se desenvolvendo, e se findando. É muito interessante também olhar para o céu e enxergar além do que existe aqui na Terra, e poder ver os objetos astronômicos que tanto encantam com suas belezas. Falando nisso, quais objetos astronômicos você conhece? Você sabe quais objetos astronômicos existem fora da Terra que podem ser observados? Por que não conseguimos enxergar esses objetos então? Tente encontrar as respostas para essas e outras perguntas nesse material. Boa viagem!

Igor Bellucio Santos

## Sumário

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | O COMEÇO DE TUDO.....                                     | 8  |
| 1.1     | UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO.....                       | 8  |
| 1.1.1   | A teoria do Big Bang.....                                 | 9  |
| 1.1.2   | A expansão do Universo e a Radiação Cósmica de Fundo..... | 9  |
| 1.1.3   | A formação do universo e a organização atual.....         | 11 |
| 2       | OBJETOS ASTRONÔMICOS.....                                 | 13 |
| 2.1     | NEBULOSAS.....  | 13 |
| 2.1.1   | Tipos de Nebulosas.....                                   | 14 |
| 2.1.1.1 | Nebulosa de emissão.....                                  | 14 |
| 2.1.1.2 | Nebulosa de reflexão.....                                 | 15 |
| 2.1.1.3 | Nebulosa escura.....                                      | 16 |
| 2.1.1.4 | Nebulosa planetária.....                                  | 17 |
| 2.1.1.5 | Restos de supernovas.....                                 | 18 |
| 2.2     | ESTRELAS.....   | 19 |
| 2.2.1   | O Sol.....  | 20 |
| 2.2.2   | Conceitos Básicos.....                                    | 20 |
| 2.2.2.1 | Estrelas Múltiplas e Estrelas Binárias.....               | 20 |
| 2.2.2.2 | Aglomerado de estrelas.....                               | 20 |
| 2.2.2.3 | Constelação.....  | 21 |
| 2.2.2.4 | Asterismo.....  | 21 |
| 2.2.3   | Características Físicas das Estrelas.....                 | 22 |
| 2.2.3.1 | Tamanho de uma estrela.....                               | 22 |
| 2.2.3.2 | Energia de uma estrela.....                               | 22 |
| 2.2.3.3 | Temperatura de uma estrela.....                           | 22 |
| 2.2.3.4 | Intensidade do brilho de uma estrela.....                 | 24 |
| 2.2.4   | Classificação de Estrelas.....                            | 24 |
| 2.2.5   | Alguns tipos de estrelas.....                             | 26 |
| 2.2.5.1 | Gigante Vermelha.....                                     | 26 |
| 2.2.5.2 | Anã Branca.....   | 26 |
| 2.2.5.3 | Anã Negra.....  | 27 |
| 2.2.5.4 | Anã Vermelha.....   | 27 |
| 2.2.5.5 | Anã Marrom.....   | 27 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.2.5.6 | Estrelas Wolf-Rayet .....  | 27 |
| 2.2.5.7 | Estrela de Nêutrons .....  | 28 |
| 2.2.5.8 | Estrelas Variáveis .....   | 28 |
| 2.2.6   | Origem e ciclo de uma estrela .....                                      | 28 |
| 2.2.6.1 | O surgimento de uma estrela .....  | 28 |
| 2.2.6.2 | O final de uma estrela.....  | 29 |
| 2.2.6.3 | Ainda existe “vida” após a “morte” .....                                 | 30 |
| 2.3     | SISTEMA PLANETÁRIO.....  | 31 |
| 2.3.1   | O Sistema Solar .....  | 31 |
| 2.3.1.1 | Cinturão de Asteroides .....   | 32 |
| 2.3.1.2 | Cinturão de Kiuper .....   | 32 |
| 2.3.1.3 | Objetos Transnetunianos .....  | 32 |
| 2.3.1.4 | Nuvem de Oort .....  | 32 |
| 2.3.2   | Planetas .....   | 33 |
| 2.3.2.1 | Terra.....   | 33 |
| 2.3.2.2 | Planeta Anão .....   | 33 |
| 2.3.2.3 | Exoplanetas.....   | 34 |
| 2.3.3   | Satélites .....  | 34 |
| 2.3.4   | Lua da Terra.....  | 35 |
| 2.3.4.1 | Fases da Lua.....  | 36 |
| 2.4     | ASTEROIDES, COMETAS, METEOROS E METEORITOS .....                         | 36 |
| 2.5     | GALÁXIA .....  | 37 |
| 2.5.1   | Tipos de Galáxias .....  | 39 |
| 2.5.1.1 | Em relação ao tamanho .....  | 39 |
| 2.5.1.2 | Em relação à forma.....  | 40 |
| 2.5.2   | Quasares .....   | 42 |
| 2.5.3   | Galáxias Satélites.....  | 42 |
| 2.5.4   | Aglomerado de galáxia .....  | 42 |
| 2.5.5   | Superaglomerado de galáxia .....   | 43 |
| 2.6     | BURACO NEGRO .....   | 43 |
| 3       | MATÉRIA ESCURA E ENERGIA ESCURA .....                                    | 44 |
| 4       | MAPA DO UNIVERSO: ONDE ESTAMOS? O QUE VEMOS AO<br>LONGO DO COSMOS? ..... | 45 |
| 5       | A POLUIÇÃO LUMINOSA.....   | 52 |
| 5.1     | A DIFÍCIL TAREFA .....   | 52 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.2   | A ORIGEM DA POLUIÇÃO LUMINOSA .....                                  | 52 |
| 5.2.1 | A história da energia elétrica no mundo.....                         | 53 |
| 5.2.2 | A história da iluminação pública e da energia elétrica no Brasil.... | 59 |
| 5.3   | A POLUIÇÃO LUMINOSA DAS CIDADES .....                                | 61 |
| 5.4   | IMPACTOS DA POLUIÇÃO LUMINOSA .....                                  | 67 |
|       | REFERÊNCIAS.....   | 69 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Resumo da classe, cor e temperatura das estrelas. ....                                 | 23 |
| Quadro 2 - As estrelas recebem uma denominação a cada classe de luminosidade<br>pertencente. .... | 26 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema da evolução do universo ao longo do tempo.....                                      | 10 |
| Figura 2 - A radiação cósmica de fundo em micro-ondas.....   | 10 |
| Figura 3 - Centro da Nebulosa da Lagoa.....  | 13 |
| Figura 4 - Nebulosa Olho de Gato (NGC 6543) .....  | 13 |
| Figura 5 - A Grande Nebulosa de Orion, situada na constelação de Orion.....                            | 14 |
| Figura 6 - Nebulosa de Antares, na constelação de Escorpião. ....                                      | 15 |
| Figura 7 - Nebulosa cabeça de cavalo. ....   | 16 |
| Figura 8 - A Nebulosa do Anel. ....  | 17 |
| Figura 9 - A Nebulosa do Caranguejo. ....  | 18 |
| Figura 10 - A paralaxe de um objeto. Imagem ilustrativa .....  | 19 |
| Figura 11 - Tipo espectral ou cor define a temperatura da estrela. ....                                | 23 |
| Figura 12 - O Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama HR. ....                        | 25 |
| Figura 13 - Resumo do ciclo de uma estrela. ....   | 30 |
| Figura 14 - O sistema solar e suas fronteiras. ....  | 31 |
| Figura 15 - Principais satélites naturais do Sistema Solar. ....                                       | 35 |
| Figura 16 - Ilustração da Via Láctea e seus quatro braços maiores. ....                                | 38 |
| Figura 17 - Ultra Deep Field (Campo Ultra Profundo). ....  | 39 |
| Figura 18 - Quadro resumo dos tipos de formatos de galáxias segundo a classificação<br>de Hubble. .... | 41 |
| Figura 19 - Grupo local de galáxias. ....  | 42 |
| Figura 20 - O nosso planeta Terra e a Lua.....   | 45 |
| Figura 21 - O Sistema Solar Interior e o Sistema Solar Exterior. ....                                  | 46 |
| Figura 22 - O bairro estelar que pertence o Sol, chamado de Grupo Local.....                           | 47 |
| Figura 23 - A concepção artística da Via Láctea .....  | 48 |
| Figura 24 - Grupo Local de galáxias.....   | 48 |
| Figura 25 - O Grupo Local faz parte do Aglomerado de Virgem.....                                       | 49 |
| Figura 26 - O superaglomerado Laniakea .....   | 49 |
| Figura 27 - A teia cósmica do Universo.....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 28 - O multiverso: múltiplos universos que se chocam. ....                                 | 51 |
| Figura 29 - Oratório do Santo Antônio do Relento (1710). ....                                     | 60 |
| Figura 30 – Um panorama da poluição luminosa mundial.....   | 62 |
| Figura 31 - O céu visto em diferentes condições de ausência e presença da poluição luminosa. .... | 63 |
| Figura 32 - Tipos de postes de iluminação pública .....   | 64 |

# 1 O COMEÇO DE TUDO

Vamos começar pelo... começo! Tudo tem um começo, não é mesmo? Mas quando se fala em universo é complicado afirmar isso com toda a certeza. A cada passo que damos na evolução das ciências, novas teorias surgem, na tentativa implacável de tentar procurar respostas definitivas sobre perguntas fundamentais estabelecidas pela humanidade, como “*o que somos?*”, “*onde estamos?*” ou “*para onde vamos?*”. Na concepção mais aceita atualmente pela comunidade internacional de cientistas, para que houvesse o hoje, tudo o que somos e tudo que existe, foi necessário ter um início. Esse foi um dos pilares estabelecidos para tentar entender o cosmos. Cosmos, é tudo que existe no universo, incluindo a sua história. Nessa parte do nosso estudo, iremos ver uma breve história da astronomia focando na concepção da origem física do universo. Vamos buscar compreender, através de uma análise bem simplificada, como se deu fisicamente todo o processo de formação de tudo que existe, e expandir mais nosso entendimento sobre as estruturas do espaço profundo.

## 1.1 UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO

O início: como surgiu o Universo?

Essa é uma das perguntas mais intrigantes estabelecidas pela raça humana. A curiosidade levou o homem a pesquisar cada vez mais o céu para tentar compreender tudo que existe no universo, até mesmo o que é o universo em si. Várias teorias foram criadas, e a tentativa de formular uma explicação sólida e convincente caminha no sentido de haver uma complementação entre elas. E a principal delas é considerada fundamental para entender o que vemos pelos telescópios: a teoria do Big Bang.

### 1.1.1 A teoria do Big Bang

A formulação da teoria do Big Bang (“grande explosão”) teve contribuição de vários cientistas, mas começou a surgir em 1922 quando o físico e matemático russo Alexander A. Friedmann (1888-1925) resolveu as equações da gravidade do físico alemão Albert Einstein (1879-1955) e encontrou uma solução que indicava que o universo estaria se movendo e em expansão, contrariando a ideia de um universo estático, como Einstein pensava<sup>1</sup>. Anos depois, em 1927, o astrônomo e padre belga Georges Lemaître chegou à mesma conclusão de Friedmann, e propôs que o universo teria se desenvolvido a partir de um “átomo primordial”. Segundo essa teoria, toda a estrutura do universo (incluindo o próprio universo) estava concentrada em uma área muito pequena, até que explodiu em um evento violento. Um dos primeiros apoiadores dessa teoria foi o russo-norte-americano George Gamow (1904-1968), que estudou detalhadamente o processo pelo qual elementos químicos são criados a partir de componentes mais fundamentais no cosmos. Esse estudo foi denominado *nucleocosmogênese*, que mais tarde viria a ser chamado de *nucleossíntese do Big Bang*. Gamow previu também a existência de uma radiação que teria sido emitida após a grande explosão e resfriada com a expansão do Universo, observada hoje com a temperatura de 3K, bem próxima do zero absoluto.

### 1.1.2 A expansão do Universo e a Radiação Cósmica de Fundo

A teoria do Big Bang teve duas confirmações: em 1929 pelo astrônomo americano Edwin Hubble (1888-1959) quando este constatou através de observações astronômicas que o Universo estava em expansão, e em 1964 com a descoberta da Radiação Cósmica

---

<sup>1</sup> Em 1917, Albert Einstein aplicou a teoria da relatividade geral para modelar a estrutura do universo como um todo. Ele acreditava que o universo era eterno e imutável. Como essa ideia violava a Teoria da Relatividade, em suas próprias equações da gravidade Einstein introduziu uma constante (constante cosmológica) que fazia com que seu modelo de universo permanecesse estático. Mais tarde, Einstein chamou isso de erro.

de Fundo (CMB)<sup>2</sup> (prevista por George Gamow), quando os engenheiros de telecomunicações americanos Arno Allan Penzias (1933) e Robert Woodrow Wilson (1936-) captaram ondas de rádio de 7,35 cm, que teriam sido irradiadas quando o Universo tinha uma temperatura de cerca de 3 mil K, com idade de 380 mil anos e era 1500 vezes menor do que atualmente.

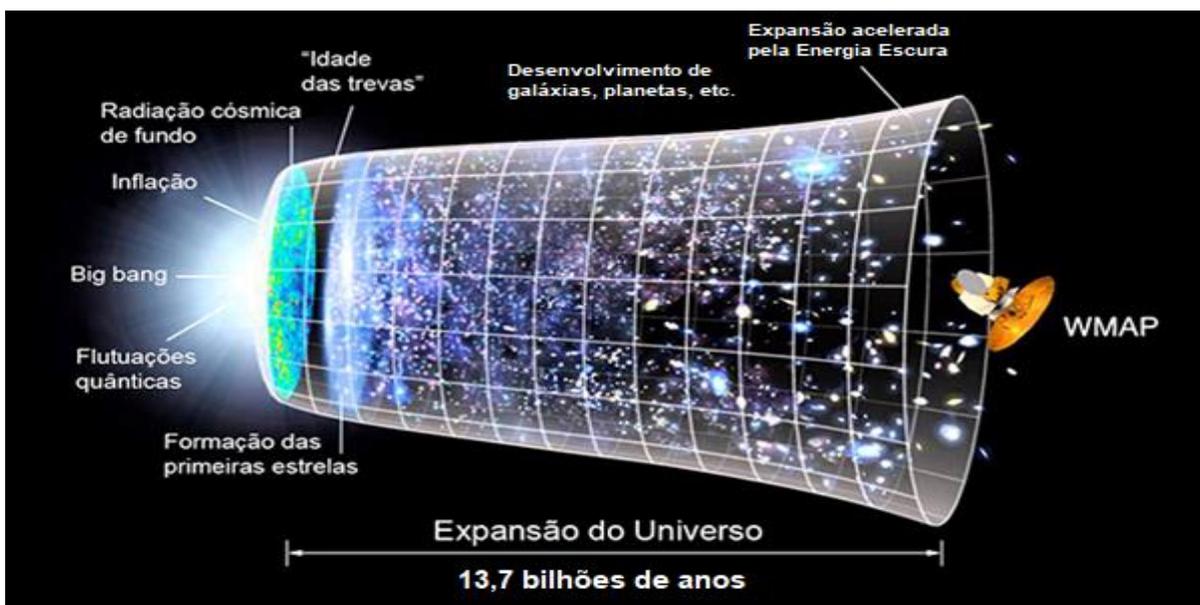


Figura 1 - Esquema da evolução do universo ao longo do tempo. Crédito: NASA

Em 2001 a sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe -WMAP foi lançada ao espaço para fazer o mapeamento detalhado dessa radiação.

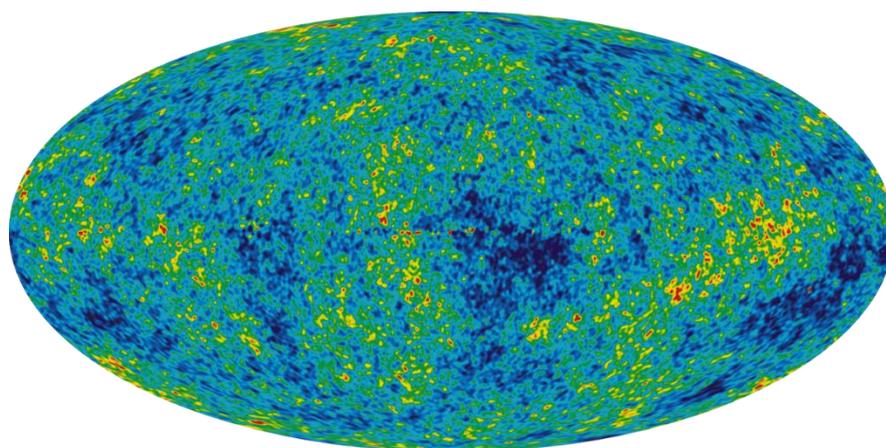


Figura 2 - A radiação cósmica de fundo em micro-ondas é uma radiação eletromagnética que preenche todo o universo, cujo espectro é o de um corpo negro a uma temperatura de 2,725 Kelvin. Crédito: NASA

<sup>2</sup> A descoberta foi considerada tão importante que os dois engenheiros receberam o Prêmio Nobel de Física de 1978.

O WMAP detectou um sinal que é o remanescente do universo jovem e quente, um padrão congelado de quando o cosmos tinha apenas 380.000 anos de idade. À medida que o universo se expandiu nos 13 bilhões de anos seguintes, esse sinal perdeu energia e se estendeu em comprimentos de onda cada vez mais longos. Hoje, é detectável como microondas. Os estudos com a sonda concluíram também que o universo é composto por cerca de 4% de matéria bariônica (formada por prótons, elétrons, nêutrons), 23% de matéria escura e de cerca de 73% de energia escura.

Ainda assim, o modelo estava incompleto, porque não explicava parte do desenvolvimento do universo logo após a explosão. A complementação desse vazio veio em 1982, quando físico americano Alan Guth (1947-) propôs uma solução: a teoria do Big Bang inflacionário. Essa teoria afirma que o universo teria tido uma rápida expansão, através de uma inflação causada por uma transição de fase no Big Bang, onde teria liberado energia latente.

### 1.1.3 A formação do universo e a organização atual

O Big Bang explica muito bem a formação do universo: o universo surgiu de uma grande explosão há 13,7 bilhões de anos. A energia da explosão fez com que a matéria fosse formada e ganhando forma no espaço, se desenvolvendo dentro dele. Logo, porções de matéria (átomos, moléculas de gases,) começaram a se aglomerar devido à atração gravitacional, formando estruturas de tamanhos variados. Os aglomerados de poeira e gás, chamados de nebulosas, começaram a dar origem às primeiras estrelas, e, segundo algumas teorias, os restos da formação dessas estrelas, formaram os planetas e sucessivamente os satélites naturais. Devido à grande atração gravitacional entre as estrelas e outras estruturas massivas, surge um grande aglomerado de estrelas que dá origem ao que chamamos de galáxias. Acredita-se, em algumas teorias, que no centro de grande parte das galáxias há um objeto muito denso, com pouco volume, mas

bem massivo, que absorve toda a matéria visível, até mesmo a luz: o misterioso buraco negro. Devido à alta gravidade gerada por sua massa, esse objeto faz de si um núcleo central aprisionando as estrelas em uma órbita ao seu redor, atraindo-as para si e engolindo-as, aumentando cada vez mais a sua massa.

As observações mostram que as galáxias cada vez mais se afastam umas das outras, indicando que o universo está em expansão. Ao invés dos grandes aglomerados de galáxias se atraírem devido à ação da gravidade, há uma força contrária a ideia da gravidade. Para explicar o afastamento ao invés da atração, acredita-se que há uma energia escura que impulsiona a expansão do universo.

Assim como esses objetos citados, existem muitos objetos que habitam o universo, e veremos o que são os mais importantes para o objetivo do nosso estudo: nebulosas, estrelas, planetas, luas (satélites), constelações, galáxias, buracos negros, meteoros e asteroides.

## 2 OBJETOS ASTRONÔMICOS

### 2.1 NEBULOSAS

São grandes regiões no espaço compostas por nuvens de poeira e gases. As nebulosas são locais favoráveis para o acúmulo de matéria e nascimento de estrelas.



Figura 3 - Centro da Nebulosa da Lagoa, um vasto berçário estelar. A imagem da esquerda foi captada em luz visível e outra, a da direita, captada em luz infravermelha. Crédito: NASA.



Figura 4 - Nebulosa Olho de Gato (NGC 6543). Crédito: NASA, ESA, HEIC e STScI / AURA).

## 2.1.1 Tipos de Nebulosas

### 2.1.1.1 Nebulosa de emissão

Uma nebulosa de emissão é uma nebulosa que rodeia uma estrela quente e difunde a energia recebida em forma de radiação, fazendo com que a nebulosa brilhe. Por conterem bastante hidrogênio, absorvem energia proveniente das estrelas e emitem luz visível (fótons<sup>3</sup>), formando um show de cores em suas estruturas. As nebulosas de emissão estão entre os objetos astronômicos mais espetaculares do Universo.



Figura 5 - A Grande Nebulosa de Orion, situada na constelação de Orion.  
Crédito: Kerry-Ann Lecky Hepburn.  
Disponível em <https://apod.nasa.gov/apod/ap090826.html>

---

<sup>3</sup> Fótons – São pacotes de partículas de luz que são emitidos de um átomo quando esse absorve energia proveniente de outra fonte de radiação.

### 2.1.1.2 Nebulosa de reflexão

São nebulosas que não tem energia suficiente para emitir luz, e apenas refletem a luz de estrelas quentes que habitam essas regiões. Na foto, podemos ver a Estrela Antares iluminando a região nebulosa em amarelo ao seu redor.



Figura 6 - Nebulosa de Antares, na constelação de Escorpião.

Crédito: Eder Ivan.

Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap120417.html>

### 2.1.1.3 Nebulosa escura

A nebulosa escura é uma nuvem de gás frio e poeira opaca que não emite luz visível, bloqueando a luz de muitas estrelas que seriam visíveis no fundo.



Figura 7 - Nebulosa cabeça de cavalo.

Crédito: Marco Burali, Tiziano Capecchi e Marco Mancini (Observatório MTM)

Disponível em <https://apod.nasa.gov/apod/ap100513.html>

#### 2.1.1.4 Nebulosa planetária

É uma estrela que passou da fase de gigante vermelha e que ejeta suas camadas de plasma mais externas formando um grande anel brilhante.

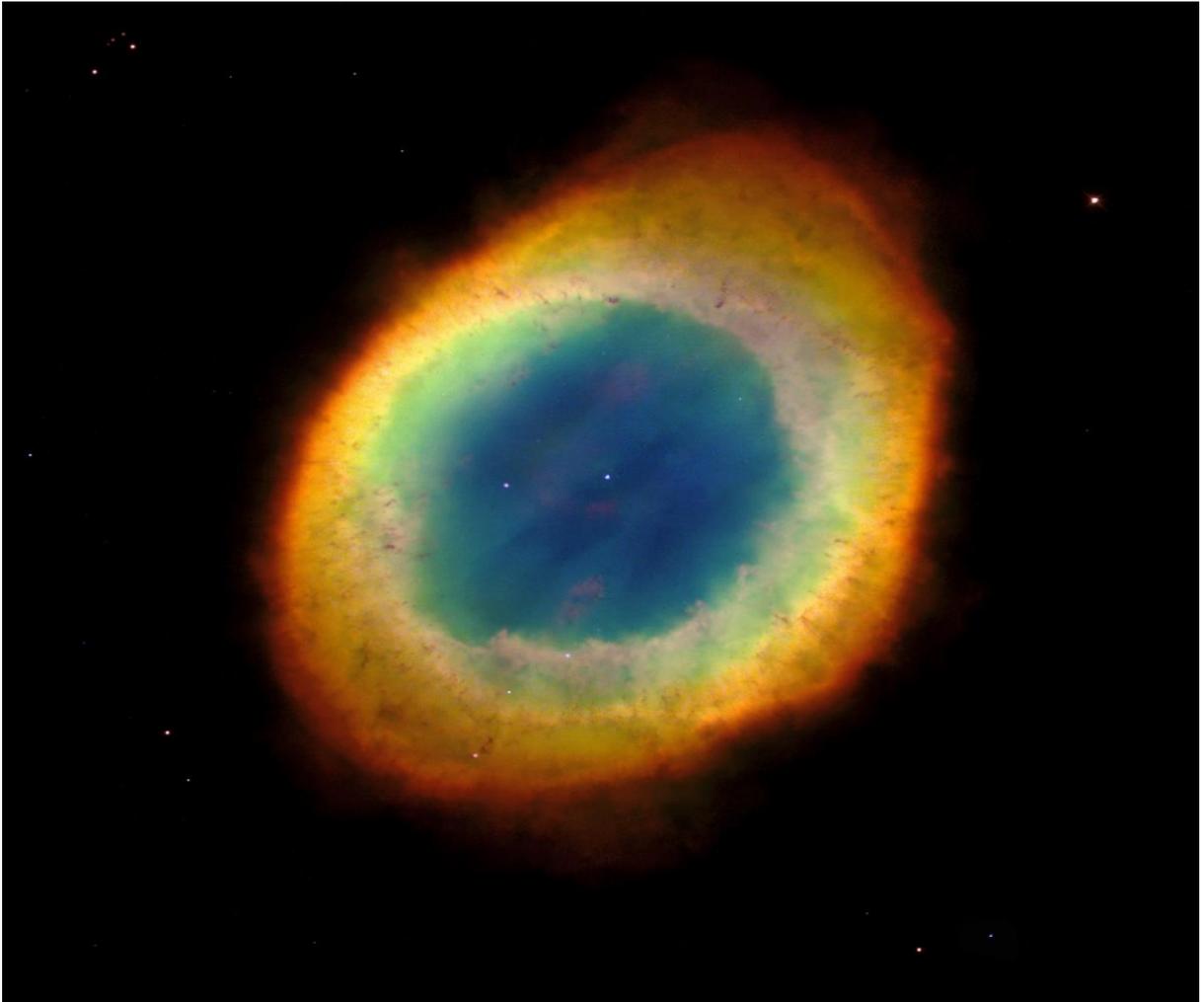


Figura 8 - A Nebulosa do Anel, também conhecida por M57 ou NGC 6720), que fica a 2.300 anos-luz da Terra, na constelação de Lira.  
Crédito da imagem: NASA/STScI/ESA.

### 2.1.1.5 Restos de supernovas

São formadas por partículas e gases de uma estrela gigante que explodiu dando origem a uma supernova. Essas partículas contêm alto nível de energia, o que faz com que elas fiquem carregados eletricamente (ionizados) e brilhantes.

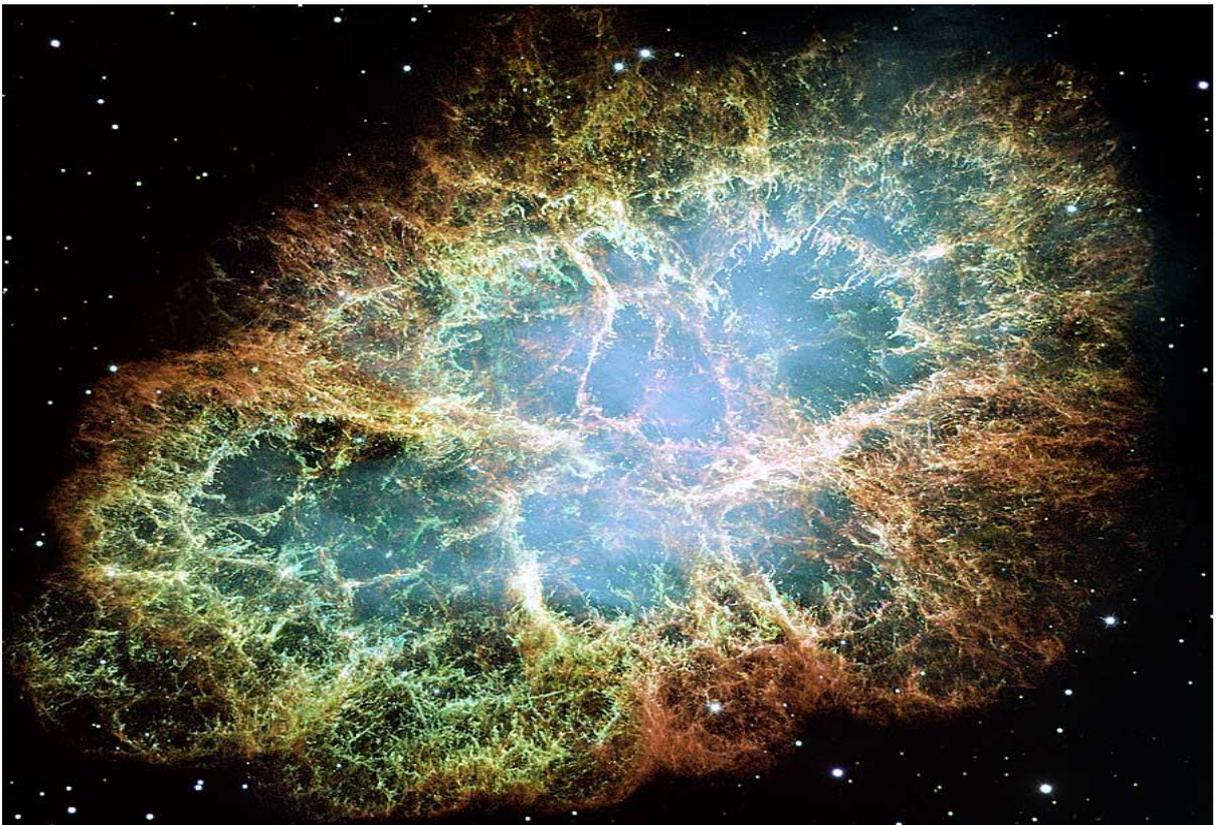


Figura 9 - A Nebulosa do Caranguejo (também catalogado como Messier 1, NGC 1952, Taurus A) localiza-se a cerca de 6.500 anos-luz da Terra, na constelação do Touro, e tem um diâmetro de 11 anos-luz (3,4 parsecs), expandindo-se a uma taxa de aproximadamente 1.500 quilômetros por segundo. Crédito da foto: NASA, ESA, J. Hester, A. Loll (ASU).

## 2.2 ESTRELAS

Uma estrela é um enorme corpo de forma aproximadamente esférica composto por gases de temperaturas muito altas (plasma<sup>4</sup>), que irradia energia (emite radiação eletromagnética) para o espaço. A estrela mais próxima da Terra é o Sol. Outras estrelas são visíveis da Terra durante a noite, quando não são ofuscadas pela luz do Sol ou bloqueadas por fenômenos atmosféricos.

Para determinar as características de uma estrela, como luminosidade, o tamanho e a massa, é necessário conhecer a distância da estrela até nós. Para saber essa distância, vários métodos são usados pelos astrônomos, mas utiliza-se com maior frequência o *método de paralaxe*, que consiste em medir a aproximação ou o afastamento da estrela em relação a nós através da geometria. Ela é definida como o ângulo  $p$  entre as linhas de visão de um objeto (estrela) visto de dois pontos extremos da órbita terrestre (posições A e B na figura). A propriedade dos objetos que a paralaxe permite descobrir:

- Raio de estrelas próximas ao Sol;
- Ângulo de inclinação de galáxias;
- Velocidade de exoplanetas;
- Temperatura de estrelas;
- Distância de objetos à Terra.

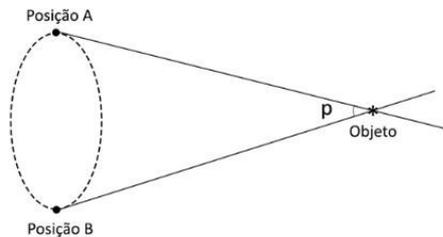


Figura 10 - A paralaxe de um objeto. Imagem ilustrativa

---

<sup>4</sup> Plasma – Considerado o quarto estado da matéria, o plasma é um gás superaquecido que desprende seus elétrons dos núcleos, formando um gás de íons.

### 2.2.1 O Sol

O Sol é uma estrela que tem 4,5 bilhões de anos de idade, tendo um diâmetro de 1.400.000 km (aproximadamente cem vezes maior que o da Terra) e massa (330 mil vezes a massa da Terra). A distância média entre o Sol e a Terra é de 149,6 milhões de km. O Sol se move ao redor da Via Láctea a 225 quilômetros por segundo. Seu destino é se tornar uma Gigante Vermelha, e quando atingir essa fase engolirá Mercúrio, Vênus e a Terra, chegando próximo à órbita de Marte. Mas essa fase só vai chegar em aproximadamente 4 bilhões de anos.

### 2.2.2 Conceitos Básicos

#### 2.2.2.1 Estrelas Múltiplas e Estrelas Binárias

Uma estrela múltipla é um sistema de duas ou mais estrelas ligadas pela gravidade e que estabelecem uma órbita entre si. Sistemas com duas estrelas são chamadas *estrelas duplas*, *estrelas binárias*, ou simplesmente *sistema binário*. Um sistema binário pode ser composto por uma estrela de maior massa (estrela primária) e uma estrela de menor massa (estrela companheira), que orbita a estrela primária.

#### 2.2.2.2 Aglomerado de estrelas

São agrupamentos de dezenas ou centenas de milhares de estrelas dentro de uma galáxia ligadas pela força da gravidade que exercem entre si. Também conhecidos como *enxames estelares*, podem ser aglomerados abertos (pouco densos, não têm forma definida e são situados próximos do plano de uma galáxia), ou aglomerados globulares (quando formam grupos compactos e esféricos nos limites externos de uma galáxia. Na Via Láctea são conhecidos cerca de 160 desses aglomerados.

### 2.2.2.3 Constelação

Uma constelação é um desenho formado por um grupo de estrelas no céu. Segundo a União Internacional Astronômica (IAU), existem apenas 88 constelações oficiais. As estrelas de uma constelação podem não estar ligadas através da gravidade, já que muitas delas podem estar a diferentes distâncias da Terra. Para localizar um determinado objeto astronômico na imensidão desse universo a partir da Terra, a comunidade astronômica dividiu o céu em regiões, com base nas constelações. As constelações que podem ser vistas dependem da localização do observador na Terra, de acordo com o hemisfério que se encontra. Assim, existem as constelações que só são visíveis no hemisfério norte e constelações que só são visíveis no hemisfério sul, justamente por causa da simetria esférica do nosso planeta, mais um argumento que quebra a concepção da Terra plana. De acordo com o caminho que a Terra percorre o Sol, algumas constelações não ficam visíveis porque ficam “atrás” do Sol. No mangá e desenho animado japonês “Cavaleiros do Zodíaco” que ficou muito conhecido aqui no Brasil durante a década de 1990 é abordado uma série de histórias que fazem alusão ao contexto da mitologia grega, onde jovens lutadores possuem armaduras sagradas que representam as constelações (alguns deles têm até nomes de estrelas, como Aldebarã da constelação de Touro) e lutam para proteger a reencarnação da deusa Athena na guerra contra outros deuses mitológicos que querem dominar e destruir o planeta Terra.

### 2.2.2.4 Asterismo

Um asterismo é um conjunto de estrelas observável no céu e facilmente reconhecível, que normalmente é identificado por um nome, podendo fazer parte de uma constelação, mas que não é uma das 88 constelações oficiais. Exemplos de asterismos bem conhecidos são as “Três Marias”, na constelação de Órion, o “V”, na constelação do Touro, e o “guarda-chuva” ou “ponto de interrogação” na constelação de Escorpião.

## 2.2.3 Características Físicas das Estrelas

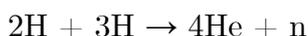
### 2.2.3.1 Tamanho de uma estrela

Os tamanhos das estrelas podem ser bem diferentes. O seu diâmetro pode variar de um centésimo do diâmetro do Sol (1.400.000 km), até mil vezes esse tamanho (1 bilhão de km). Para facilitar a compreensão do tamanho de uma estrela, geralmente é feita uma comparação com as características encontradas no Sol. Assim, o diâmetro e a massa de uma estrela, por exemplo, podem ser alguns vezes maiores ou menores que os diâmetro ou a massa do Sol.

- Diâmetro do Sol: 1.391.400 km
- Massa do Sol:  $1,988 \cdot 10^{30}$  kg

### 2.2.3.2 Energia de uma estrela

A alta concentração de energia de uma estrela vem através da reação de fusão nuclear, que é um processo em que dois núcleos se combinam para formar um único núcleo, mais pesado. Como as estrelas são ricas em hidrogênio, ele se funde produzindo hélio:



Uma enorme quantidade de energia é liberada nas reações de fusão quando dois núcleos leves se fundem, e o resultado é que a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais, fazendo se perder uma determinada massa. A massa perdida é convertida em energia (equação de Einstein,  $E=mc^2$ ), gerada em decorrência da fusão dos núcleos.

### 2.2.3.3 Temperatura de uma estrela

Todo corpo que emite luz tem uma cor, e essa cor define a temperatura da superfície de cada estrela. A figura abaixo mostra a temperatura de alguns tipos de estrelas baseada no comprimento de onda emitido por elas.

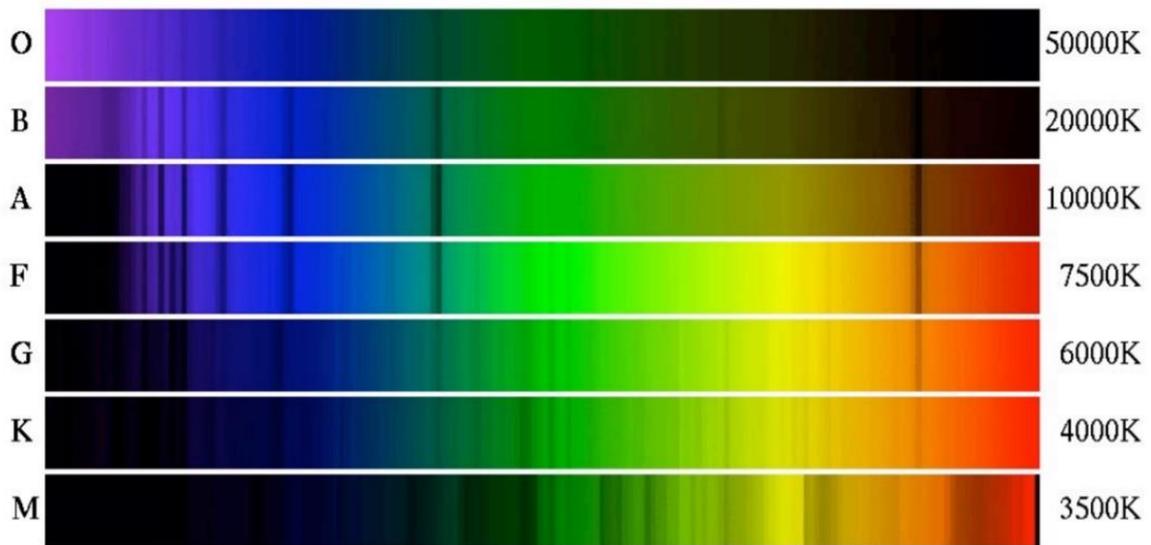


Figura 11 - Tipo espectral ou cor define a temperatura da estrela.

Fonte: <https://www.astro.princeton.edu/~burrows/classes/204/stellar.atmospheres.HR.pdf>

Estrelas mais quentes têm menor comprimento de onda emitido e, portanto, são em tom de azul, enquanto que estrelas mais frias têm maior comprimento de onda, em tom de vermelho. Assim, devido à sua cor, as estrelas são classificadas segundo classes espectrais: O, B, A, F, G, K e M. Essa classificação foi criada pelo Observatório do Colégio de Harvard, nos Estados Unidos.

Quadro 1 - resumo da classe, cor e temperatura das estrelas.

| CLASSE | COR       | TEMPERATURA | EXEMPLO             |
|--------|-----------|-------------|---------------------|
| O      | AZUL      | 30.000 K    | MINTAKA             |
| B      | AZULADO   | 20.000 K    | RIGEL               |
| A      | BRANCO    | 10.000 K    | VEGA, SIRIUS        |
| F      | AMARELADO | 7.000 K     | CANOPUS             |
| G      | AMARELO   | 6.000 K     | SOL, ALFA CENTAURO  |
| K      | LARANJA   | 4.000 K     | ARCTURUS, ALDEBARÃ  |
| M      | VERMELHO  | 3.000 K     | BETELGEUSE, ANTARES |

Dentro de cada classe, existem subdivisões que variam de 0 a 9, de acordo com a temperatura. Isso significa que a estrela mais quente na classe F é a F0 e a mais quente, e F9 a mais fria. Dentro da classe G, o Sol é classificado como G2, ou seja, o terceiro mais quente.

#### 2.2.3.4 Intensidade do brilho de uma estrela

As estrelas são classificadas de acordo com seu brilho, atribuída a cada tipo de brilho um valor chamado magnitude. Existem dois tipos de magnitude: a aparente e a absoluta.

A magnitude aparente das estrelas é a medida do brilho aparente do astro visto daqui da Terra, que varia de acordo com seu poder de emissão de luz e também com sua distância em relação ao nosso planeta. Nos astros mais brilhantes, a magnitude tem valor negativo, numa escala com valores de -0,1 até -27. Nos astros menos brilhantes, a magnitude tem valor positivo com valor de 0 até 32.

A magnitude absoluta é o valor da medição da luminosidade dos astros quando o olhamos a uma distância fixa de 10 pc (dez parsecs = 32,6 anos luz) dele. Análogo a isso seria segurar uma bola de futebol em uma mão e uma bola de gude em outra mão com os dois braços esticados, e comparar seus tamanhos. Normalmente, apenas a magnitude aparente é utilizada.

#### 2.2.4 Classificação de Estrelas

Para classificar, os cientistas usam os comprimentos de onda que são emitidos pelas estrelas. Assim, obtém os dados a partir de sua cor, como temperatura, luminosidade, composição química, tamanho, pressão interna, e gravidade, para construir um diagrama de classificação, o chamado diagrama HR.

No diagrama de Hertzsprung-Russell<sup>5</sup> (HR) as estrelas são arranjadas de acordo com sua luminosidade (ou magnitude absoluta) e a sua temperatura superficial (ou tipo espectral). No meio desse diagrama, existe uma faixa de concentração do tipo mais

---

<sup>5</sup> O Diagrama de Hertzsprung-Russell, foi publicado independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva.

comum de estrelas existente no universo, designada por “sequência principal” da qual fazem parte cerca de 90% de todas as estrelas conhecidas. Esta faixa contém tanto as estrelas mais quentes e luminosas (localizadas no canto superior esquerdo) como as mais frias e pouco luminosas (canto inferior direito). Uma estrela situada sobre esta banda designa-se por *Estrela da Sequência Principal*. O Sol é uma estrela pertencente ao grupo de estrelas da sequência principal.

Existem 4 características que são critérios para classificar estrelas: luminosidade, temperatura na superfície, tamanho e massa.

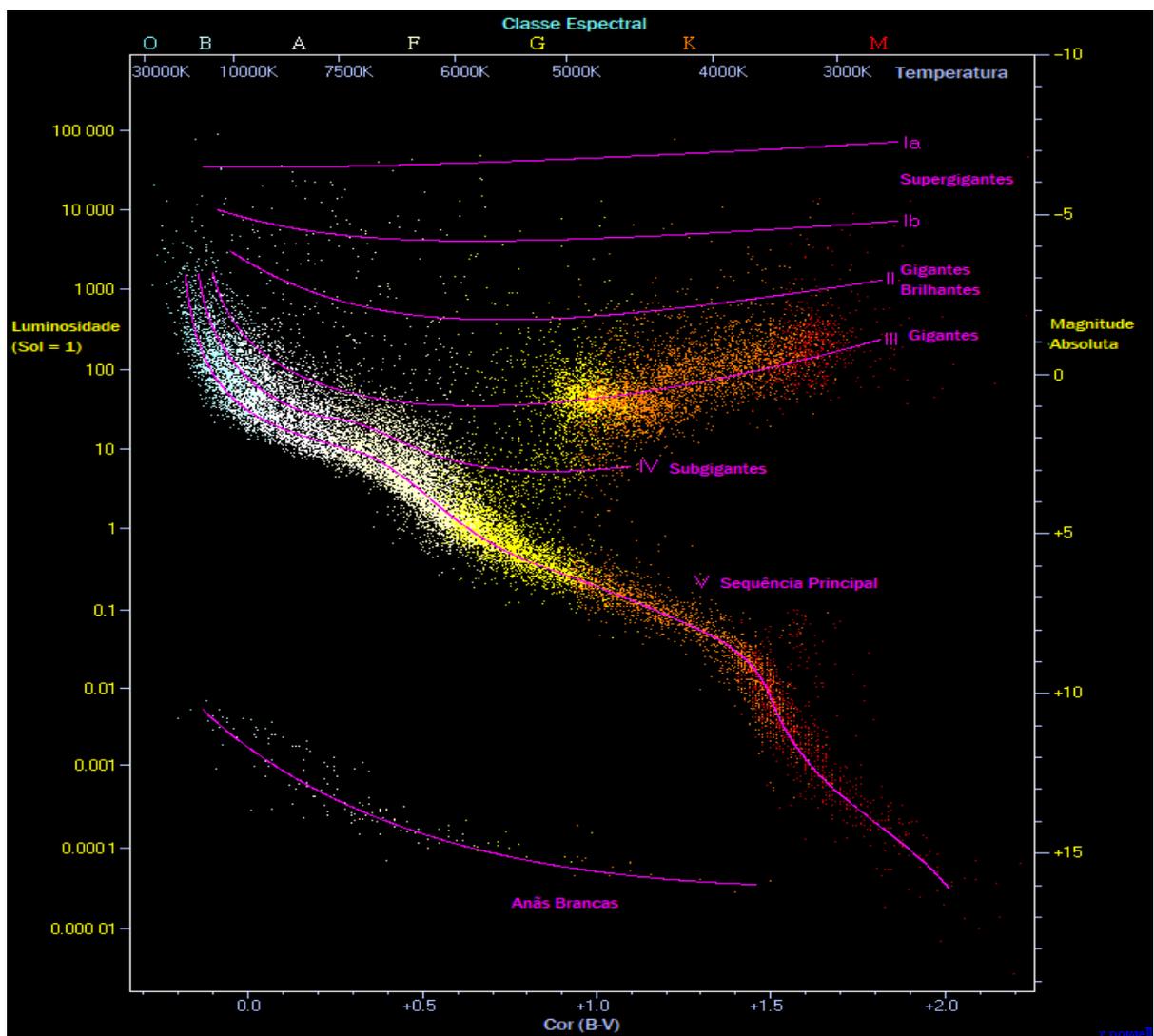


Figura 12 - O Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama HR.

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HRDiagram.png>

De acordo com classificação espectral do Observatório Yerkes da Universidade de Chicago (também chamado de sistema MKK<sup>6</sup>) que é baseada em classes de luminosidade, determinados tipos de estrelas se situam em regiões específicas do diagrama HR, e recebem uma denominação, a cada classe de luminosidade pertencente como descrito na tabela a seguir.

Quadro 2 - Classificação espectral das estrelas feita pelo Observatório Yerkes.

| Classe               | Denominação   | Exemplo                 |
|----------------------|---|-------------------------|
| 0 ou Ia <sup>+</sup> | HIPERGIGANTES OU SUPERGIGANTES EXTREMAMENTE LUMINOSAS | Mintaka (Delta Orionis) |
| Ia                   | SUPERGIGANTES SUPERLUMINOSAS                          | Rigel                   |
| Ib                   | SUPERGIGANTES   | Betelgeuse              |
| II                   | GIGANTES LUMINOSAS                                    | Antares                 |
| III                  | GIGANTES  | Aldebarã                |
| IV                   | SUBGIGANTES   | $\alpha$ Crucis         |
| V                    | ANÃS  | Sírius                  |
| sd ou VI             | SUB ANÃS  | HD 149382               |
| D ou VII             | ANÃS BRANCAS  | van Maanen 2            |

## 2.2.5 Alguns tipos de estrelas

### 2.2.5.1 Gigante Vermelha

É uma estrela expandida do na etapa de evolução, que fica muito grande e com baixa temperatura superficial, que dá a cor avermelhada. Estrelas gigantes vermelhas já usa todo o hidrogênio nuclear e produzem energia fundindo o hélio em carbono.

### 2.2.5.2 Anã Branca

É uma estrela quente, pequena, densa e morta, o núcleo que sobrou depois que a nebulosa planetária ejeta toda a sua camada externa. Sua temperatura é da ordem de 10.000K, e estrelas com essa temperatura externa são brancas, e por ter um raio

---

<sup>6</sup> Sigla criada a partir das iniciais dos autores William Wilson Morgan, Philip C. Keenan e Edith Kellman do Observatório Yerkes da Universidade de Chicago, ao introduzir em 1943 o sistema de classificação estelar.

pequeno, esse tipo de estrela passou a ser chamado de anã branca. Nosso Sol se tornará uma ao final de sua vida.

#### 2.2.5.3 Anã Negra

É a próxima fase da evolução de uma anã branca, na qual a estrela para de realizar fusão nuclear e não emite brilho mais.

#### 2.2.5.4 Anã Vermelha

São estrelas de pouca massa e pouca luminosidade, que variam em massa de cerca de 0,075 a cerca de 0,50 massa solar e tem uma temperatura na superfície menor do que 4000K, se enquadrando no tipo M. Algumas estrelas do tipo K com massas entre 0,50 e 0,8 massa solar, também estão incluídas. As anãs vermelhas são o tipo mais comum de estrela na Via Láctea, mas por terem baixa luminosidade, são invisíveis a olho nu a partir da Terra. Como exemplo, temos Proxima Centauri, a estrela mais próxima do Sol.

#### 2.2.5.5 Anã Marrom

É um corpo celeste que não possui massa, temperatura e pressão suficientes para realizar fusão nuclear em seu núcleo, o que a leva não ser considerada uma estrela.

#### 2.2.5.6 Estrelas Wolf-Rayet

São as estrelas que possuem uma massa maior do que vinte e cinco vezes a massa do Sol ( $> 25 M_{\text{Sol}}$ ). São variáveis e têm um envoltório de poeira e gás ejetado da estrela pela forte pressão de radiação. Podem possuir temperatura que varia de 30.000K a

60.000K. As estrelas Wolf-Rayet foram descobertas em 1867 pelos franceses Charles J.F. Wolf (1827-1918) e Georges A.P. Rayet (1839-1906).

#### 2.2.5.7 Estrela de Nêutrons

São os restos colapsados incrivelmente densos de um enorme núcleo estelar que sobrou após a morte de uma estrela. Uma estrela de nêutrons é bem pequena, da ordem de dezenas de quilômetros, e pode girar até 43.000 vezes por minuto, possuindo um campo magnético um trilhão de vezes mais forte que o da Terra. A matéria dentro de uma estrela de nêutrons é tão densa que uma colher de chá pesaria cerca de um bilhão de toneladas na Terra.

#### 2.2.5.8 Estrelas Variáveis

Estrelas variáveis são estrelas que variam seu brilho. O brilho de uma estrela varia quando a estrela é muito jovem ou quando é muito velha. A causa da variabilidade pode ser intrínseca à estrela, nas quais a variação se deve a mudanças físicas no interior da estrela ou no sistema estelar (expansão, contração, erupção, etc), ou pode ser devido a fatores extrínsecos, em que a variabilidade ocorre devido ao eclipse de uma estrela por outra ou ao efeito da rotação estelar. Estrelas variáveis são muito importantes na determinação da dimensão da nossa Galáxia e distância aos nossos vizinhos galácticos

### 2.2.6 Origem e ciclo de uma estrela

#### 2.2.6.1 O surgimento de uma estrela

As estrelas nascem nas nebulosas, que podem ou não estar dentro de uma região de aglomeração de estrelas. Em uma nebulosa pode haver regiões com maior concentração de gases, onde a força gravitacional é maior. Perturbações originadas por ondas de

choques, como as causadas por uma explosão de uma estrela próxima à essas regiões, provocam instabilidades gravitacionais e consequente atração de matéria, formando glóbulos de gás frio que se contraem. Quando o gás se contrai ele esquenta, e à medida que o glóbulo colapsa, um disco de partículas e gases em rotação é originado no centro, formando o que chamamos de protoestrela.

Se houver muito gás, a temperatura aumentará o suficiente (8 milhões Kelvin) para iniciar a uma reação de fusão nuclear através da queima de hidrogênio, liberando energia, e caracterizando o nascimento da estrela. Para se chegar a esse estágio, a protoestrela tem que ter uma massa mínima da ordem de  $10^{29}$  kg, aproximadamente 10% do valor da massa do Sol, cerca de 70 vezes a massa de Júpiter.

Se não há massa suficiente para o início das reações termonucleares, após a contração o objeto começa a se esfriar, e se torna o que chamamos de *anã marrom*. Esse tipo de astro produz pouca energia, e são mais parecidos com planetas como Júpiter do que com as estrelas.

À medida que as estrelas vão queimando o seu combustível nuclear (hidrogênio e hélio), a temperatura (no seu centro) vai aumentando, levando os elementos químicos mais pesados a serem produzidos (carbono, oxigênio). Isso faz com que elas se expandam evoluindo para o estágio que chamamos de *Gigante Vermelha*.

#### 2.2.6.2 O final de uma estrela

Após a fase de gigante vermelha, o destino de uma estrela vai depender de sua massa:

- Massa menor que oito massas solares ( $M_{\text{ESTRELA}} < 8M_{\text{SOL}}$ ): Se a estrela tiver menos que oito vezes a massa do Sol, ela libera alguns gases, que ficam entorno dela formando uma Nebulosa Planetária, e depois se esfriará lentamente, se transformando em uma Anã Branca. As Anãs Brancas podem ter tamanhos comparáveis aos da Terra, porém com massas próximas às do Sol.

- Massa maior que oito massas solares ( $M_{\text{ESTRELA}} > 8M_{\text{SOL}}$ ): Se a estrela tiver uma massa maior que oito vezes a do Sol, ela explodirá e se tornará uma supernova. Os gases liberados no espaço dão origem a uma nova nebulosa (na qual poderão surgir novas estrelas).

### 2.2.6.3 Ainda existe “vida” após a “morte”

Após a explosão da supernova, o núcleo da estrela irá se tornar um outro objeto, dependendo da massa que restar.

- Massa do núcleo menor que três massas solares ( $M_{\text{NÚCLEO}} < 3 \cdot M_{\text{SOL}}$ ): se o núcleo que sobrou for menor que 3 vezes a massa do Sol, ele virará uma *estrela de nêutrons*.

- Massa do núcleo maior que três massas solares ( $M_{\text{NÚCLEO}} > 3 \cdot M_{\text{SOL}}$ ): se o núcleo que sobrou for maior que 3 vezes a massa do Sol, dará origem a um *buraco negro*.

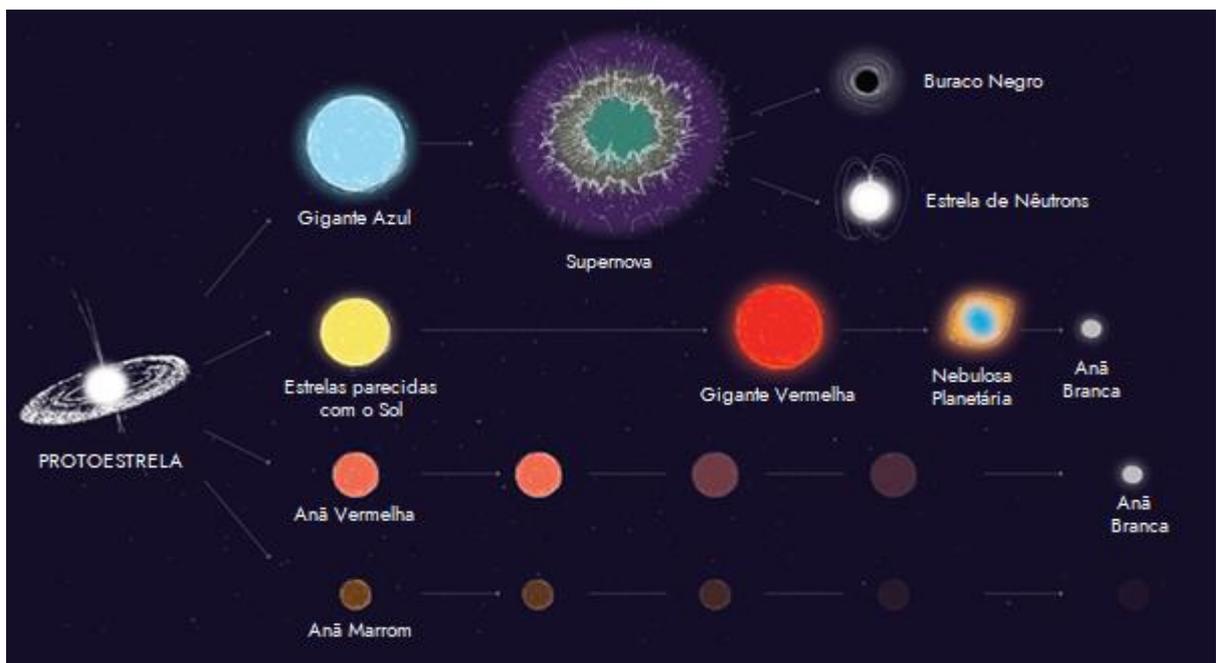


Figura 13 - Resumo do ciclo de uma estrela.

Crédito: ESA / Adaptação.

Disponível em: <http://sci.esa.int/integral/60031-stellar-evolution/>

## 2.3 SISTEMA PLANETÁRIO

Um sistema planetário é conjunto de objetos, como planetas, satélites, asteroides, cometas, fragmentos menores, e gás que orbitam uma ou mais estrelas. Esses sistemas surgem durante os estágios de formação estelar, por isso o Universo deve estar repleto de planetas.

### 2.3.1 O Sistema Solar

O Sistema Solar é o sistema planetário da nossa estrela, o Sol. Como só há uma única estrela com esse nome não tem sentido falar em outros sistemas solares, nem em planetas de outros sistemas solares. O sistema solar é composto por oito planetas, quatro deles rochosos (chamados terrestres) – Mercúrio, Vênus, Terra e Marte – e quatro gasosos (chamados jovianos) – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Além dos planetas, existem planetas anões (Plutão, Ceres), várias luas, um cinturão de asteroides entre as órbitas de Marte e Júpiter, um cinturão de corpos pequenos após a órbita de Netuno e cometas.

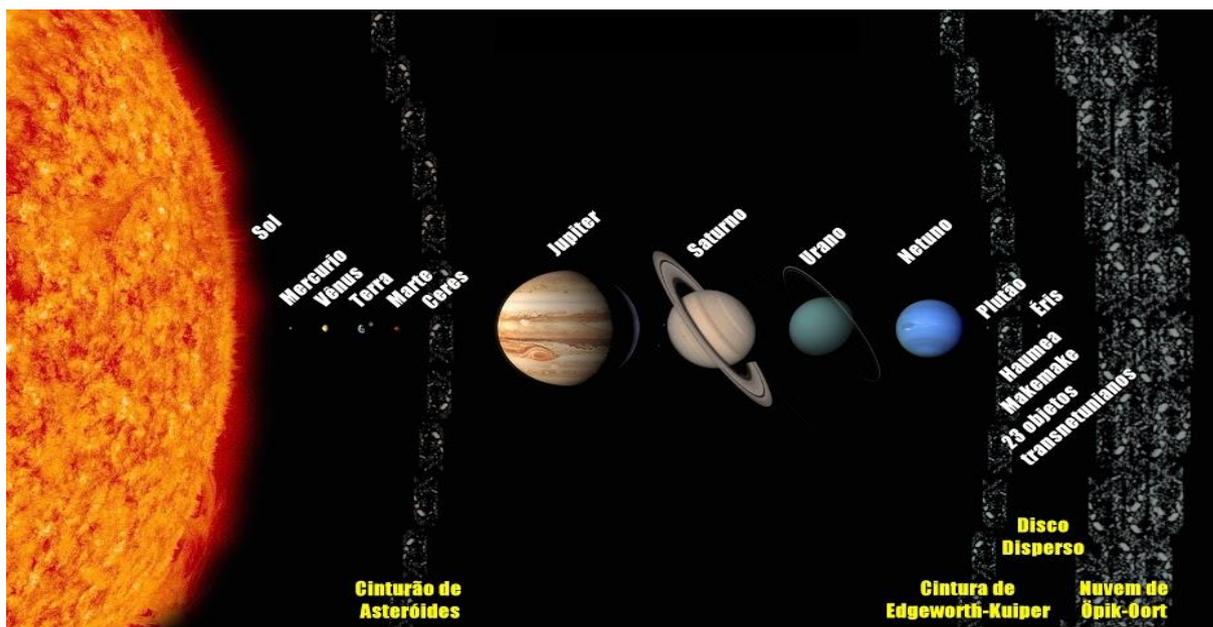


Figura 14 - O sistema solar e suas fronteiras.

Fonte: <http://azeheb.com.br/blog/conheca-nemesis/nemesis-sistema-solar>

#### 2.3.1.1 Cinturão de Asteroides

Existe uma faixa situada entre Marte e Júpiter que abriga várias partículas, poeira e objetos rochosos chamada de Cinturão de Asteroides. Foi atribuído esse nome por essa região conter a maior parte dos asteroides do Sistema Solar. Os objetos maiores podem escapar do cinturão quando atraídos pela gravidade de algum planeta, ou mesmo pela gravidade do Sol, se sua órbita sofrer algum tipo de perturbação.

#### 2.3.1.2 Cinturão de Kuiper

É uma região que contém uma população de corpos pequenos localizada depois da órbita de Netuno. A hipótese foi criada em 1930 por Frederick Leonard. Em 1943, Kenneth Edgeworth sugeriu a concentração desses objetos em um cinturão, semelhante ao dos asteroides entre Marte e Júpiter. Apenas em 1957, Gerard Kuiper concluiu que eles provinham dessa região após a órbita de Netuno, mais especificamente entre 30 e 50 UA. Essa região ficou conhecida como Cinturão de Edgeworth-Kuiper.

#### 2.3.1.3 Objetos Transnetunianos

É a denominação dada aos objetos astronômicos que ficam localizados além da órbita de Netuno. Os mais conhecidos são: Plutão, Eris, Makemake e Haumea.

#### 2.3.1.4 Nuvem de Oort

É uma hipotética nuvem esférica de objetos pequenos que foram expulsos das regiões mais próximas ao Sol depois da formação dos planetas gigantes, Júpiter e Saturno. A parte externa da Nuvem de Oort é considerada o limite gravitacional do Sistema Solar. Como a influência da gravidade do Sol é muito pequena nessa região, outros objetos

externos ao Sistema Solar podem interferir na órbita desses objetos, podendo arremessá-los para o interior da órbita dos planetas.

### 2.3.2 Planetas

Planetas são corpos celestes de simetria quase esférica que orbitam estrelas e que não irradiam energia através de fusão nuclear. A formação dos planetas resulta do colapso gravitacional da sobra de poeira e gases dos discos protoestelares (discos de poeira e nuvens de gases que giram em torno de estrelas jovens). A poeira e os gases em movimento, colidem e se fundem ao longo de milhões de anos, compondo objetos cada vez maiores até tomar forma de um planeta.

Os planetas podem ser rochosos (constituídos por materiais sólidos, como terra e rocha) ou gasosos (constituídos por gases e líquidos). No sistema solar, os planetas rochosos são Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, enquanto os planetas gasosos são Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

#### 2.3.2.1 Terra

Nosso planeta é o terceiro mais longe do Sol, a uma distância de 149.597.870,700 km, o quinto maior entre os oito, possuindo um diâmetro equatorial de 12.456,2732 km e uma massa de  $5,973332 \cdot 10^{24}$  kg.

#### 2.3.2.2 Planeta Anão

É uma classificação de corpos celestes menores que têm simetria esférica, mas não são considerados planetas por não estarem totalmente sozinhos na região de suas órbitas. No Sistema Solar, temos Éris, Plutão, Ceres, Haumea e Makemake como planetas anões.

### 2.3.2.3 Exoplanetas

Assim como a nossa estrela mantém atraídos os oito planetas e mais alguns outros objetos do Sistema Solar, outras estrelas também podem conter planetas girando em torno delas. A esses planetas que orbitam outra estrela que não seja o Sol, chamamos de *exoplanetas*. Hoje um dos focos da astronomia é de encontrar planetas parecidos com a Terra em outros sistemas estelares, o que pode ajudar a encontrar possíveis formas de vida fora do nosso planeta, ou então encontrar um ambiente habitável para a espécie humana, já que o Sol não irá existir para sempre. Em 2017 foi anunciada a descoberta do sistema conhecido como Trappist-1, que abriga sete planetas, todos eles podendo ter água líquida.

### 2.3.3 Satélites

Um satélite é um corpo celeste que orbita outro corpo celeste maior. Os satélites, quando orbitam planetas, podem ser naturais ou artificiais.

- **Satélites artificiais:** são corpos construídos pelo homem e levados ao espaço para orbitar em torno de algum corpo celeste objeto de estudo (planetas, luas etc.) para fins de coletas de dados.
- **Satélites naturais:** são corpos formados naturalmente pelo universo, que giram em torno de outros corpos maiores. Existem satélites que orbitam os planetas, que chamamos de *luas*. A exemplo, temos a nossa Lua, as luas de Júpiter e as luas de Saturno.

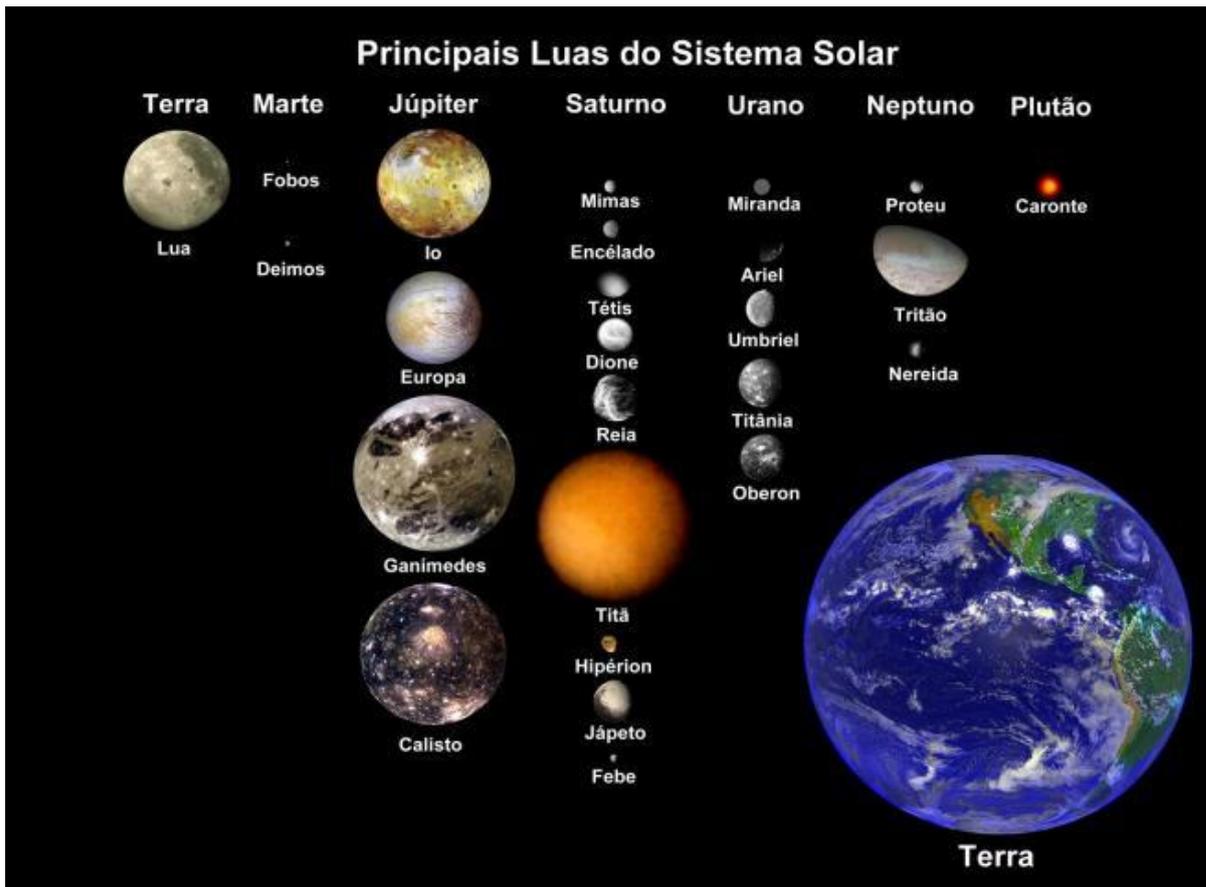


Figura 15 - Principais satélites naturais do Sistema Solar.  
 Fonte: <https://teacherdeniseselmo.wordpress.com>

#### 2.3.4 Lua da Terra

A Lua é o satélite natural da Terra, sendo o corpo celeste mais próximo da Terra, tendo uma distância média de 384.000 km. Chamamos de perigeu o momento em que a Lua atinge a menor distância da Terra, com cerca de 356.800 km, e chamamos de apogeu o momento em que a Lua atinge a maior distância da Terra, 406.400 km. Nosso satélite possui uma massa de  $7,3474271 \cdot 10^{22}$  kg, equivalente a 0,0123 vezes a massa da Terra, enquanto seu diâmetro é de 3.476 km.

#### 2.3.4.1 Fases da Lua

Os astrônomos definiram quatro fases da Lua de acordo com a porção que vemos iluminada: Nova, Quarto-Crescente, Cheia e Quarto-Minguante. Essa porcentagem varia no decorrer dos dias: durante metade do ciclo a parte iluminada vai aumentando (lua crescente) e durante a outra metade ela diminui (lua minguante). Para simplificar a identificação na transição entre uma fase e outra, imagine que quando a parte iluminada da Lua tem formato da letra C, então sua fase é crescente, e quando tem formato de D, sua fase é decrescente (minguante). O período de rotação da Lua é igual ao seu período de translação sideral, 27,3 dias terrestres. Assim, a Lua mantém a mesma face voltada para a Terra: à medida que gira em volta da Terra, ela rotaciona junto, mantendo o mesmo lado voltado para a Terra. Assim, a Lua possui uma face que é constantemente iluminada e uma face sempre escura.

Várias missões espaciais foram feitas até a Lua, a mais famosa delas, a missão Apollo, tinha como missão enviar o primeiro homem à Lua. A missão Apollo foi um projeto da NASA que consistiu num conjunto de missões à Lua que decorreu entre 1961 e 1972. O maior feito desta missão foi em 20 de julho de 1969 com o pouso da Apollo 11 na superfície lunar, liderada pelo comandante Neil Armstrong, que foi o primeiro homem a pisar na Lua.

## 2.4 ASTEROIDES, COMETAS, METEOROS E METEORITOS

Objetos que não são planetas nem luas têm poucas distinções, mas é preciso saber diferenciá-los.

Um asteroide é um corpo rochoso ou metálico que não atingiu o tamanho suficiente em sua formação para ser um planeta, mas que possui órbita definida ao redor do Sol. Os asteroides se concentram em sua maior parte em uma região situada entre as órbitas de Marte e Júpiter. Podem ser formados por composições variadas, como gelo e

aglomerado de matéria de ligas metálicas (de ferro e níquel) ou de corpos sólidos pedregosos.

Cometas são restos da nuvem de gás e poeira primitiva que forma uma enorme bola de gelo que vaga pelo espaço, podendo ou não ter órbita definida. Alguns cometas são visíveis da Terra.

Um meteoróide é todo o corpo que entra na atmosfera da Terra. Aproximadamente um quarto desses objetos são formados por uma liga metálica de níquel e ferro. Um meteoróide pode receber nomes diferentes a cada estágio de onde ele se encontra, vejamos a diferença:

- **Meteoro:** é o rastro de luz visto quando um meteoróide se queima ao entrar em contato com os gases da atmosfera da Terra. São conhecidos como *estrelas cadentes*. Em certas épocas do ano, podem-se observar mais meteoros do que o normal. Quando a Terra passa por uma área onde se encontram pedaços de matéria de um cometa que se desintegrou, esses detritos entram na nossa atmosfera, fazendo rastros de luz com frequência, a chamada *chuva de meteoros*. Chuvas de meteoros ocorrem aproximadamente na mesma data a cada ano, localizadas através das constelações.

- **Meteoritos:** são os meteoróides que não se desintegram totalmente e chegam a tocar o solo.

## 2.5 GALÁXIA

Galáxias são associações compostas de estrelas, gases, poeira interestelar, e de matéria escura<sup>7</sup>, ligadas pela gravitação. Elas usualmente ocorrem em grupos conhecidos como aglomerados. A galáxia que nós vivemos se chama *Via Láctea*, mas também é conhecida

---

<sup>7</sup> Matéria escura: é um tipo de matéria bem abundante no Universo que não emite e nem reflete radiação. Podemos observar as estrelas, gás e poeira pela luz emitida ou absorvida, mas não a matéria escura.

simplesmente como *Galáxia*. As galáxias possuem quatro regiões principais: disco fino, o disco espesso, o bojo e o halo.

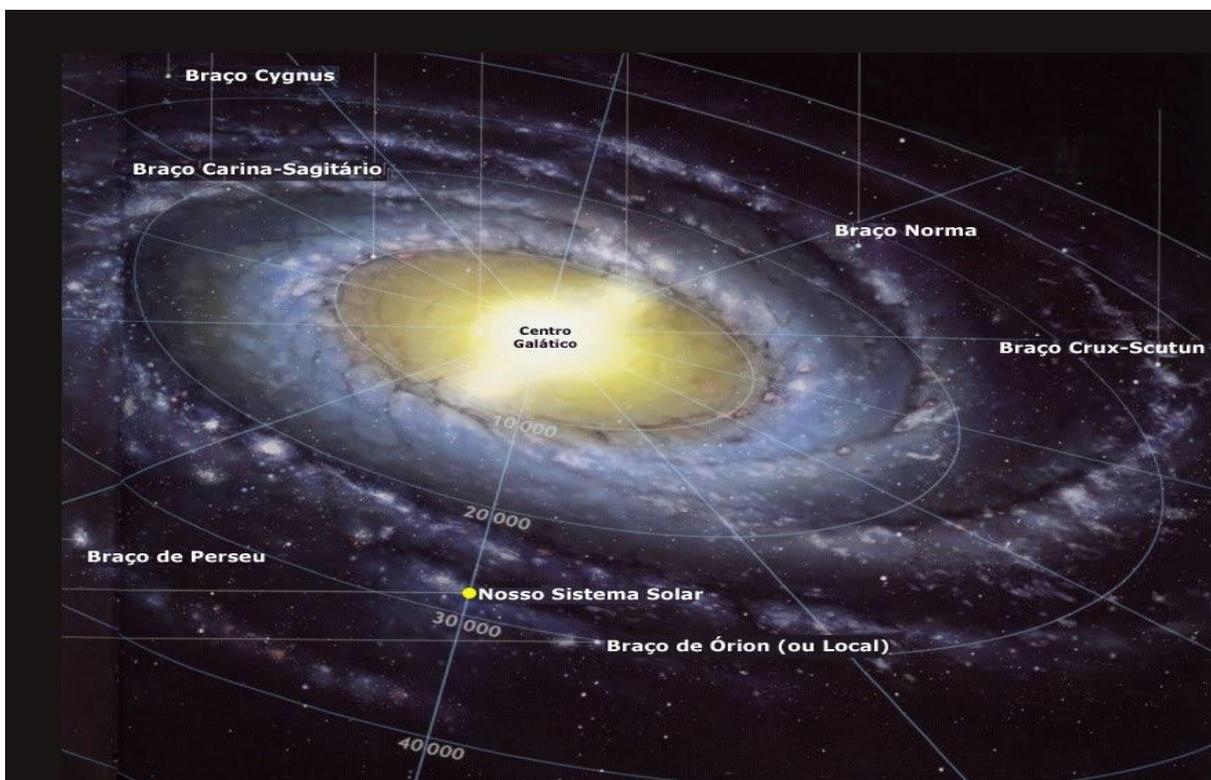


Figura 16 - Ilustração da Via Láctea e seus quatro braços maiores - Perseu, Norma, Crux-Scutum e Carina-Sagitário - e os braços menores de Órion e Cignus.

Fonte: [http://www.apolo11.com/imagens/etc/via\\_lactea\\_bracos\\_small.jpg](http://www.apolo11.com/imagens/etc/via_lactea_bracos_small.jpg).

Da nossa localização não conseguimos enxergar bem com luz visível o centro da Galáxia, mas em outros comprimentos de onda ao observar para o centro da Via Láctea que fica na direção da constelação de Sagittarius, foram detectadas uma grande concentração de estrelas, juntamente com uma fonte intensa de ondas de rádio que foi chamada de Sagittarius A\*, sugerindo ser um buraco negro de aproximadamente 1 milhão de massas solares.

No período de 3 de setembro de 2003 a 16 de janeiro de 2004, a Nasa apontou o telescópio Hubble para uma região onde parecia não haver matéria visível. O resultado da captura de imagens em longa exposição foi de uma infinidade de galáxias. Essa região ficou conhecida como Ultra Deep Field (Campo Ultra Profundo).

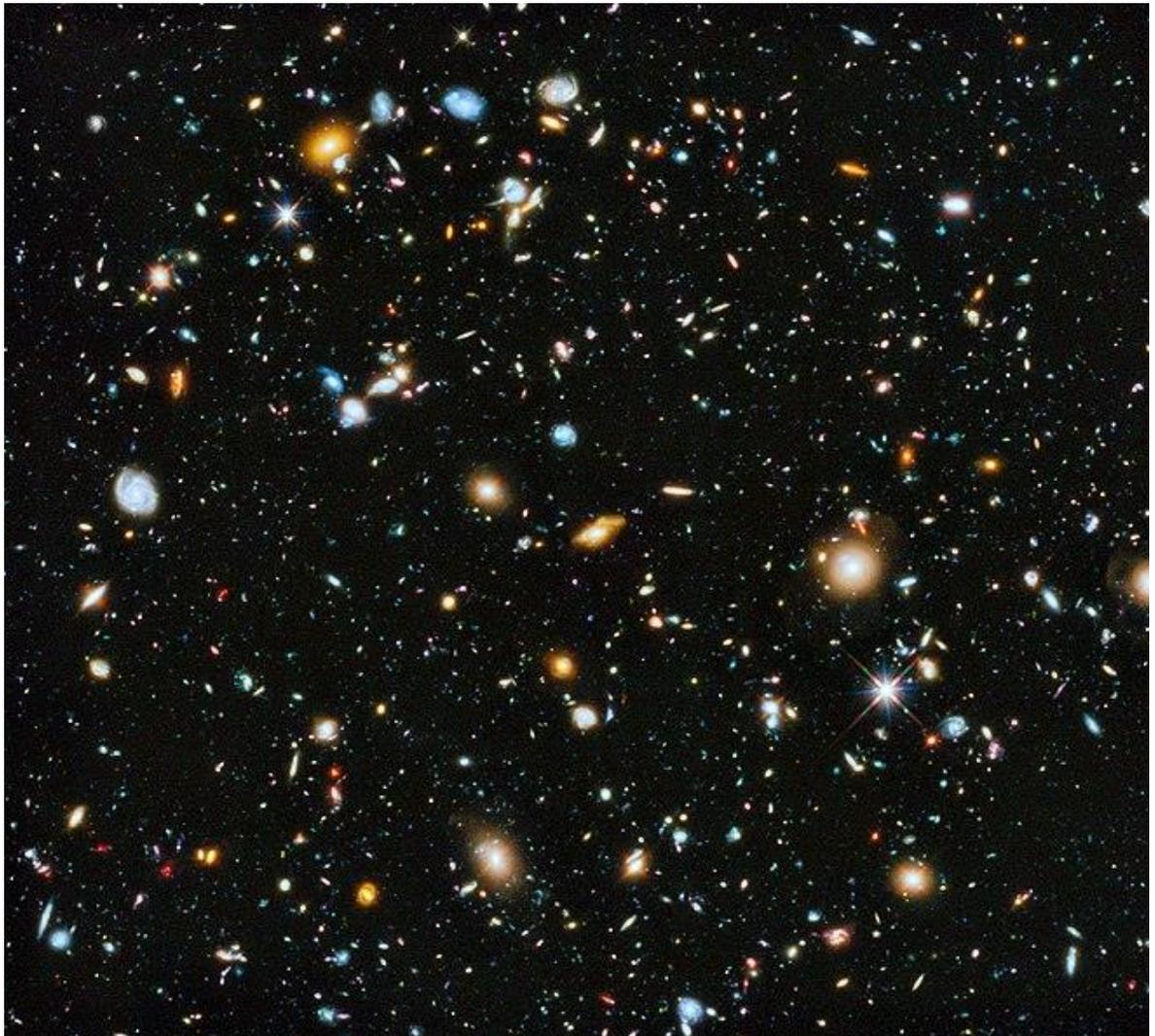


Figura 17 - Ultra Deep Field (Campo Ultra Profundo). Crédito de imagem: NASA, ESA, H.Teplitz e M.Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (ASU), Z. Levay (STScI)

### 2.5.1 Tipos de Galáxias

Existem vários tipos de galáxias, e para classifica-las adotamos os critérios de tamanho e forma.

#### 2.5.1.1 Em relação ao tamanho

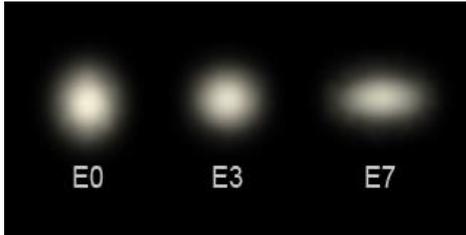
Em relação ao tamanho, as galáxias podem ser:

- Anãs: com até 10 milhões ( $10^7$ ) de estrelas;
- Gigantes: com 100 trilhões ( $10^{14}$ ) de estrelas.

### 2.5.1.2 Em relação à forma

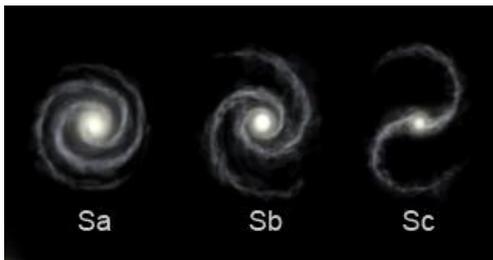
De acordo com sua forma, as galáxias são classificadas de acordo com a classificação de Hubble: elípticas(E), espirais (S) e irregulares (I).

#### I. Elíptica (E)



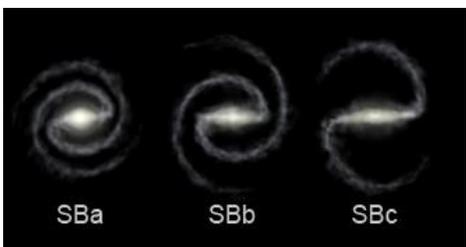
- Possui forma esférica ou elipsoidal
- Tem pouco gás, pouca poeira e poucas estrelas jovens
- São classificadas em E0 a E7, de acordo com o seu grau de achatamento
- Exemplos: M32 (NGC 221), M49 (NGC 4472)

#### II. Espiral Normal (S)



- Consistem em um disco achatado, com estrelas formando uma estrutura espiral sobre ele.
- Estrelas jovens e azuis
- Possui diâmetro que varia de 20 mil anos-luz até mais de 100 mil anos-luz
- A massa varia de 10 bilhões a 10 trilhões de vezes a massa do Sol
- São classificadas em Sa, Sb e Sc
- Sa: núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados
- Sb: núcleo e braços intermediários
- Sc: núcleo menor, braços grandes e mais abertos
- Exemplos: Via Láctea, Andrômeda.

#### III. Espiral barrada (S)



- Formato espiralado com uma estrutura em forma barra atravessando o centro
- Os braços normalmente partem das extremidades da barra
- São classificadas em SBa, SBb e SBc
- Exemplos: M83 (NGC 5236), M91 (NGC 4548).

#### IV. Galáxia lenticular (S0)



- Possui formato intermediário entre uma galáxia elíptica e uma galáxia espiral
- Tem núcleo, disco e halo, mas não tem traços de estrutura espiral.
- Exemplos: NGC 2655, NGC 4866.

#### V. Irregular (I)

- Não possuem uma forma definida, núcleos descentralizados, estrutura irregular e caótica;
- Tem muito gás;
- Estrelas jovens e azuis com massa superior à do Sol;
- Exemplo: Pequena e Grande Nuvem de Magalhães.

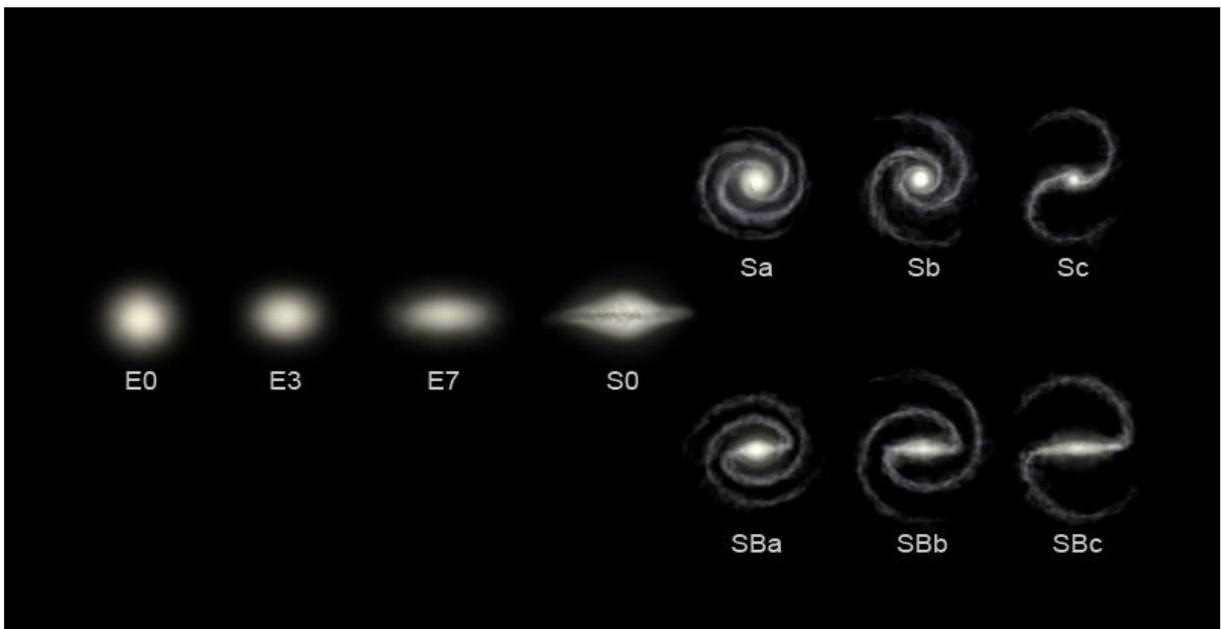


Figura 18 - Quadro resumo dos tipos de formatos de galáxias segundo a classificação de Hubble: as galáxias E são as galáxias elípticas, S são as espirais e SB são as espirais barradas. Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Hubble\\_sequence\\_photo.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Hubble_sequence_photo.png)

### 2.5.2 Quasares

Os quasares (Quasi Stellar Radio Sources ou Fonte de Rádio Quase Estelar), são galáxias com buracos negros que emitem ondas de rádio a partir do centro. São objetos extremamente compactos e luminosos, parecido com uma estrela vista com luz visível.

### 2.5.3 Galáxias Satélites

Algumas galáxias, por serem muito massivas, possuem galáxias menores que as orbitam, as chamadas *galáxias satélites*. Como exemplo, temos a Pequena e a Grande Nuvem de Magalhães que são galáxias satélites da Via Láctea.

### 2.5.4 Aglomerado de galáxia

As galáxias são encontradas no universo sozinhas ou em grupos. Quando estão em grupos, essa estrutura recebe o nome de *aglomerado de galáxia*. A Via Láctea, junto com Andrômada, faz parte do Grupo Local de galáxias.

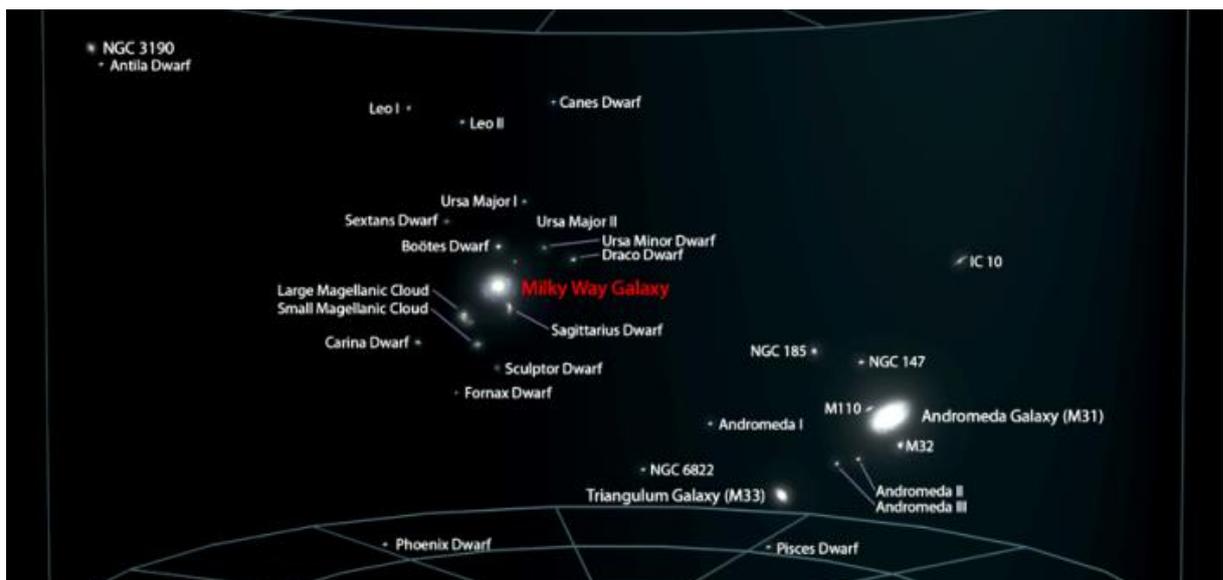


Figura 19 - Grupo local de galáxias. Crédito: Andrew Z. Colvin.

### 2.5.5 Superaglomerado de galáxia

É um conjunto de aglomerados de galáxias e são as maiores estruturas do Universo. O superaglomerado que pertence o nosso grupo local de galáxias se chama Superaglomerado Local, que possui um diâmetro de 100 milhões de anos-luz e aproximadamente uma massa de cerca de  $10^{15}$  massas solares, contendo o Grupo Local de galáxias, e o Aglomerado de Virgem.

## 2.6 BURACO NEGRO

Um buraco negro é uma região no espaço onde a força de atração da gravidade é tão forte que a luz não é capaz de escapar. A forte gravidade ocorre porque a matéria foi comprimida em um espaço minúsculo chamado singularidade. Essa compressão pode ocorrer no final da vida de uma estrela.

### 3 MATÉRIA ESCURA E ENERGIA ESCURA

Energia escura é uma forma hipotética de energia que estaria distribuída por todo espaço e tende a acelerar a expansão do Universo. Ela age como o inverso da gravidade: ao invés de atrair a massa, ela afasta.

Matéria escura é um tipo de matéria que não é detectada diretamente por não interagir com a matéria e nem consigo mesma. Para detectar a presença de matéria escura, é necessário observar distorções na trajetória da luz proveniente de outros objetos.

## 4 MAPA DO UNIVERSO: ONDE ESTAMOS? O QUE VEMOS AO LONGO DO COSMOS?

Para começar a se localizar, tenha em mente que você está em um planeta (Terra) que possui um satélite (Lua).

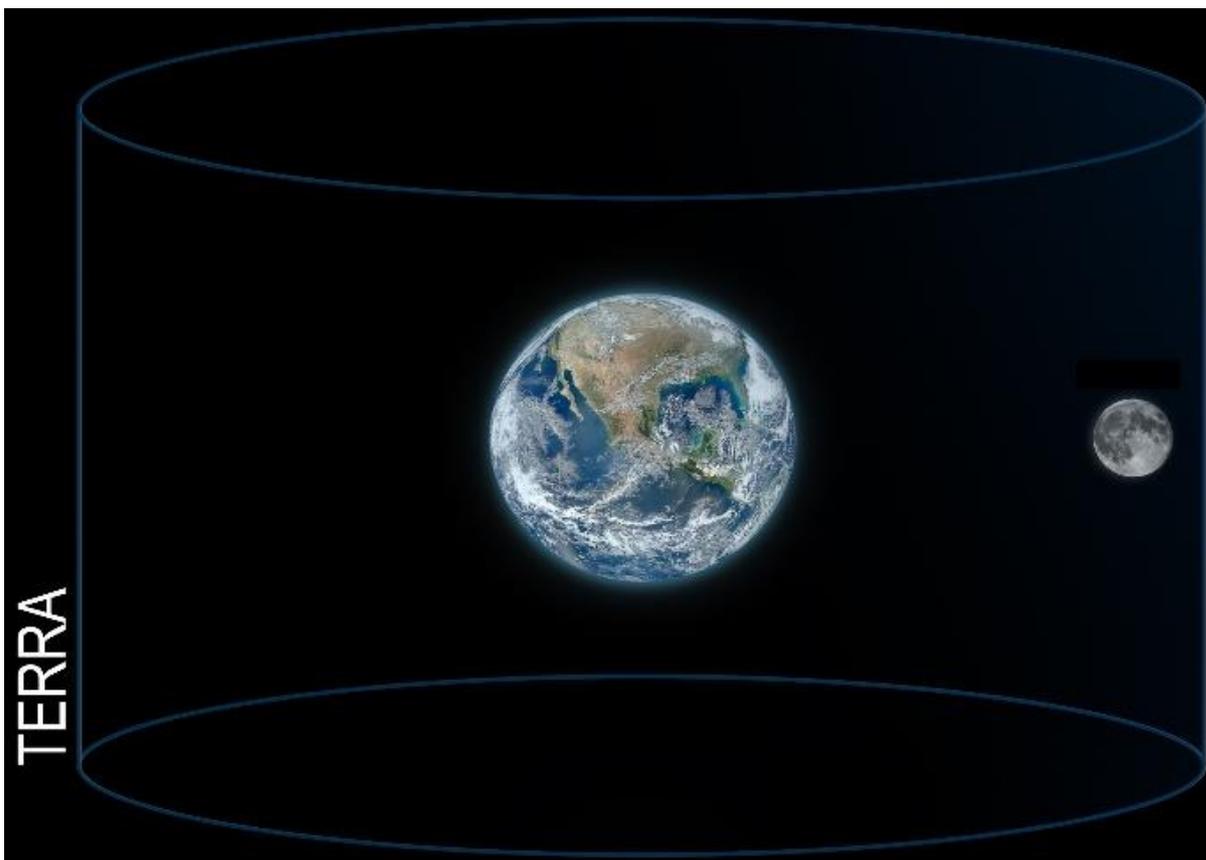


Figura 20 - O nosso planeta Terra e a Lua. Crédito: Andrew Z. Colvin.

A distância do planeta Terra para a Lua é de 384.000 km, enquanto a distância entre a Terra e o Sol é de aproximadamente 150 milhões de km, o que equivale a 1 Unidade Astronômica.

$$1\text{U.A.} = 150.000.000 \text{ km}$$

Terra e Lua, juntamente com outros planetas e suas luas, constituem um sistema planetário preso à gravidade de uma estrela (Sol): o Sistema Solar.

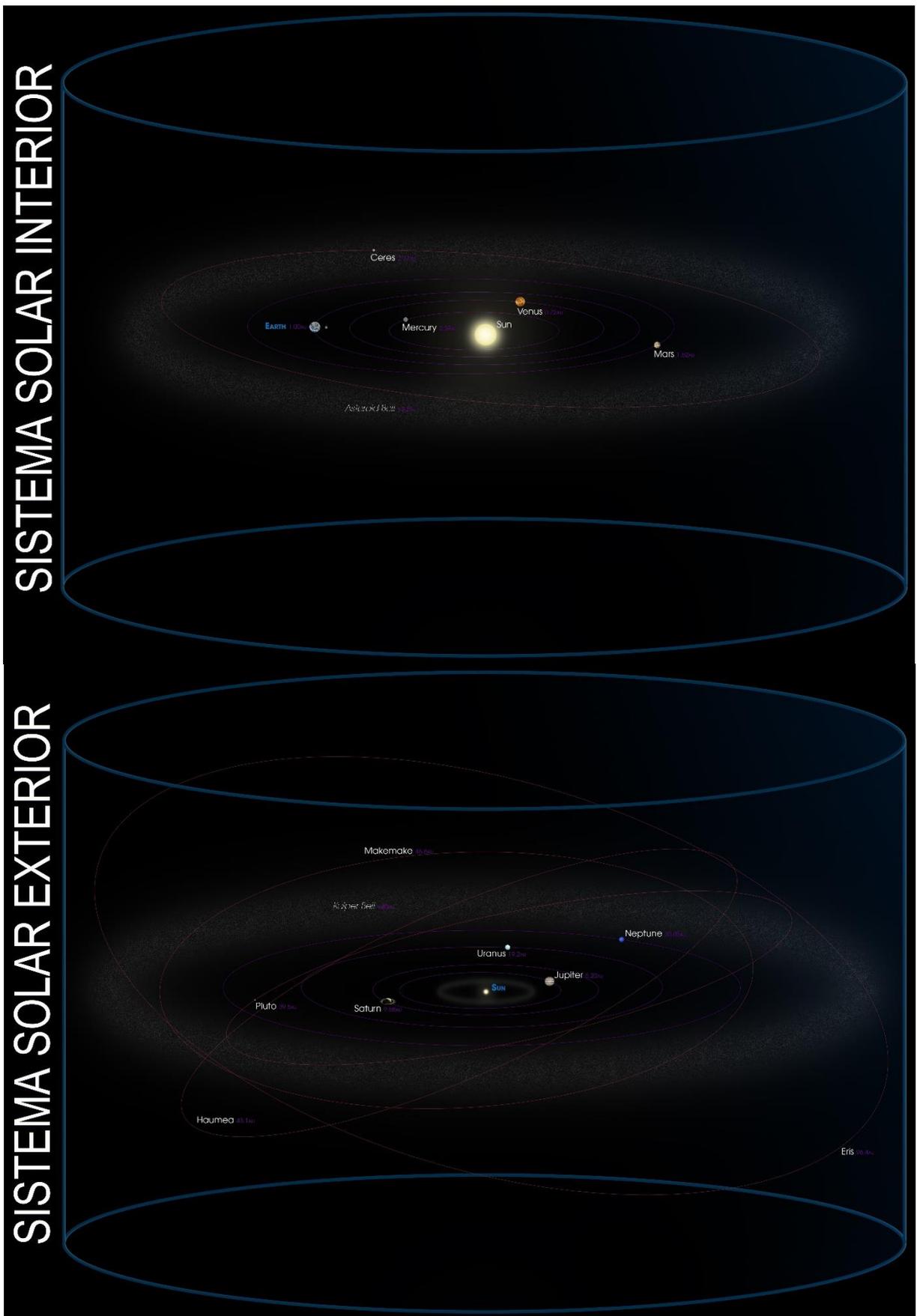


Figura 21 - O Sistema Solar Interior e o Sistema Solar Exterior. Crédito: Andrew Z. Colvin.

Nossa estrela, Sol, está situada em uma vizinhança, chamada de Grupo Local. A estrela mais próxima do Sol é Próxima Centauri, pertencente ao sistema triplo Alpha Centauri, constituído por um conjunto binário de estrelas (Alpha Centauri A e B) que orbitam entre si e ao mesmo tempo mantêm ligação gravitacional com Próxima Centauri.

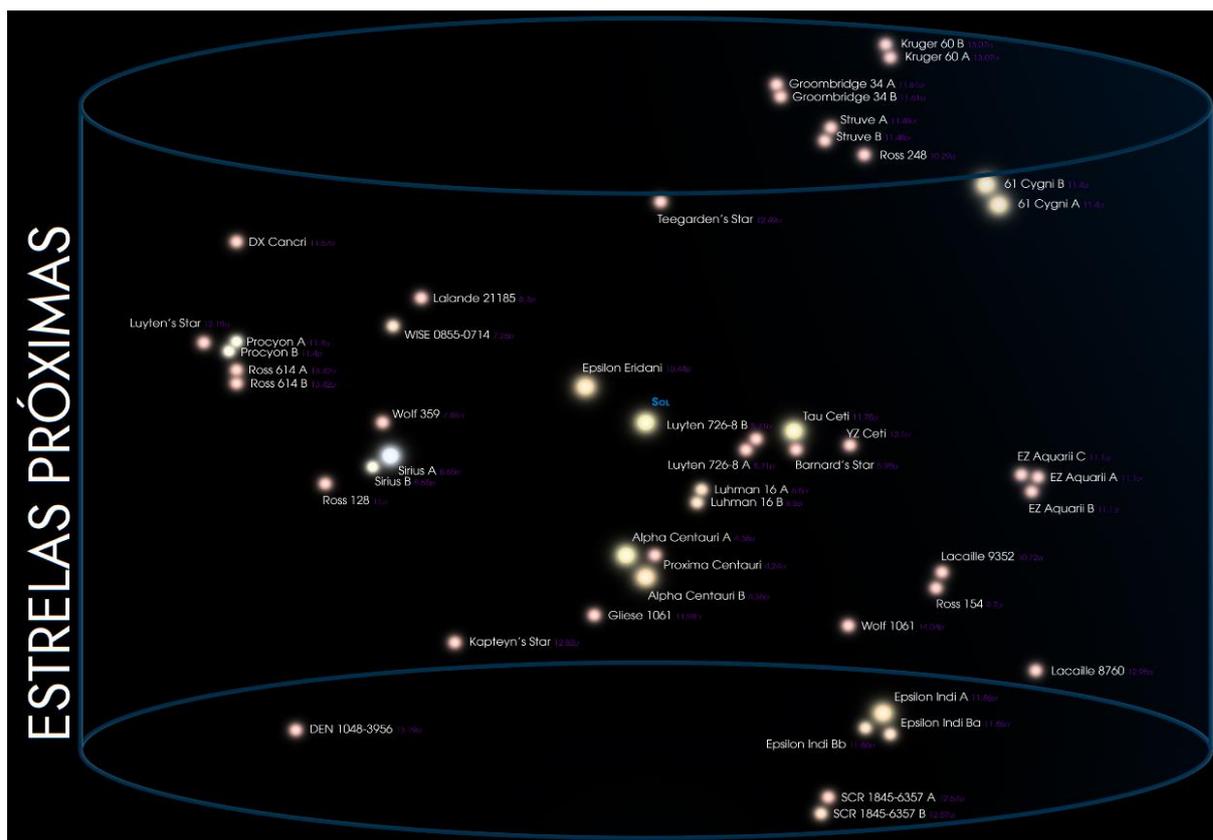


Figura 22 - O bairro estelar que pertence o Sol, chamado de Grupo Local. Crédito: Andrew Z. Colvin.

Orbitando junto com outras centenas de milhões de estrelas, o Sol se encaminha para ser absorvido por um buraco negro localizado no centro dessa estrutura maior, que chamamos de galáxia. A nossa galáxia se chama Via Láctea, que significa “Caminho de Leite”, nome dado pela mitologia grega. Conta a lenda que a deusa Juno amamentava os filhos, e todos os dias, gotas de leite caíam do seio de Juno, formando um rastro no caminho que ela percorria. Pouco a pouco essas gotas foram formando a Via Láctea.

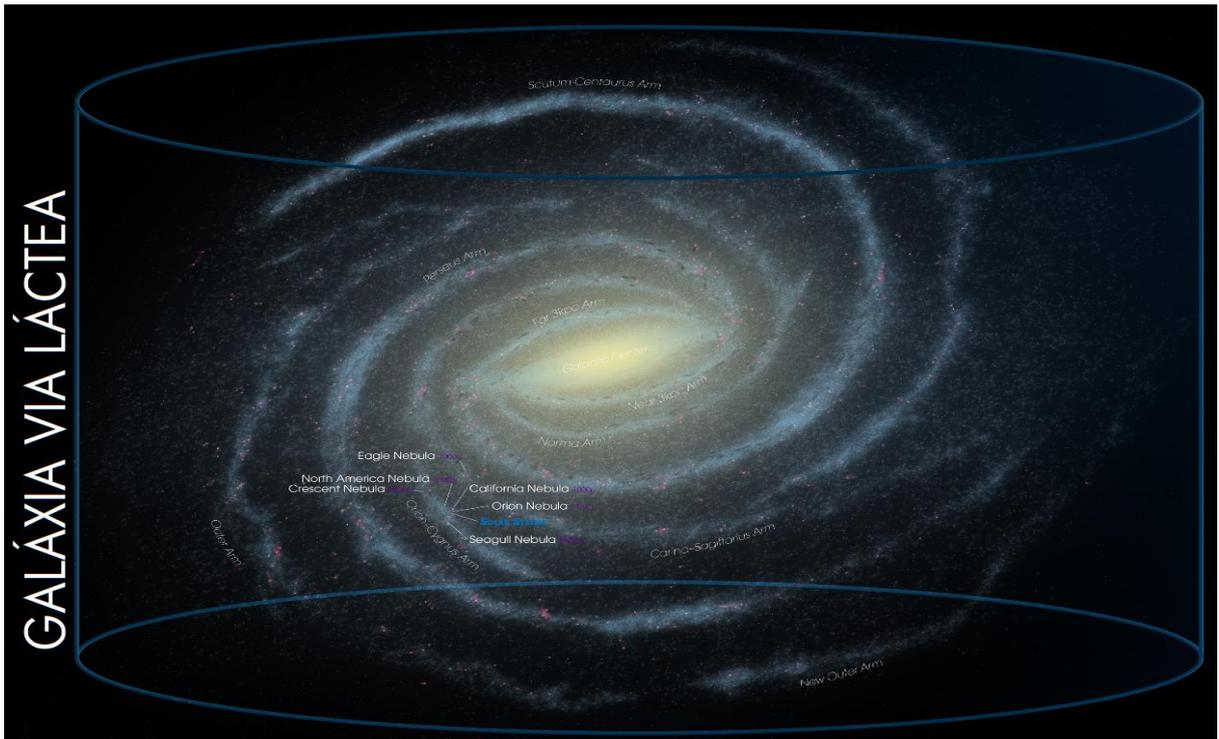


Figura 23 – A concepção artística da Via Láctea. Crédito: Andrew Z. Colvin.

As galáxias também exercem força gravitacional entre elas, que faz com que se agrupem formando os grupos de galáxias.

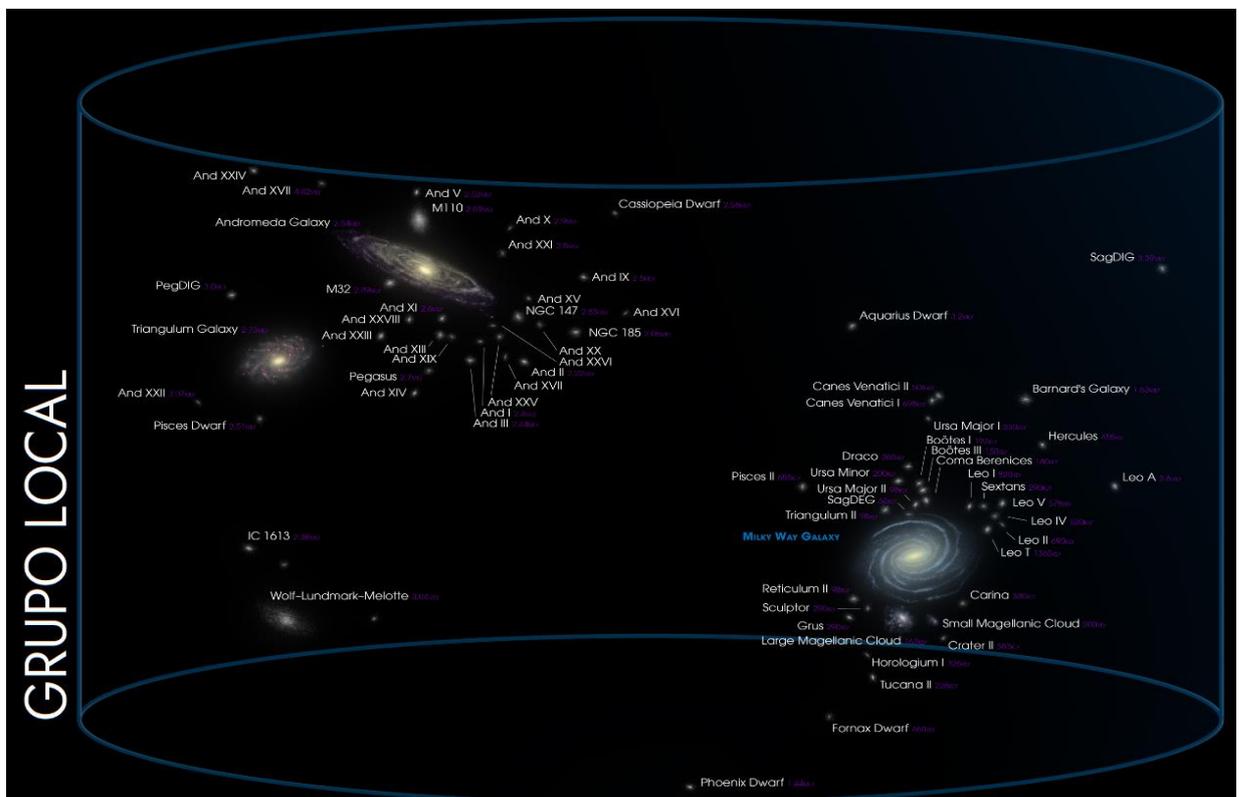


Figura 24 - Grupo Local de galáxias. Crédito: Andrew Z. Colvin.

Vários grupos de galáxias formam os aglomerados de galáxias, que por sua vez se agrupam em superaglomerados de galáxias.

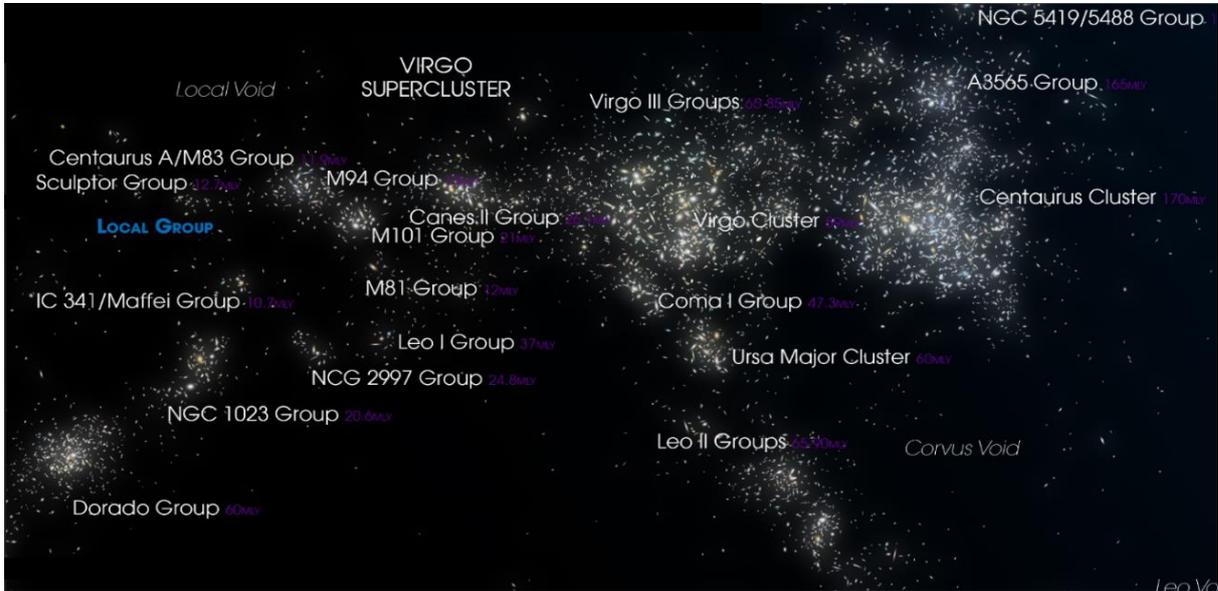


Figura 25 - O Grupo Local faz parte do Aglomerado de Virgem. Crédito: Andrew Z. Colvin.

O superaglomerado de galáxias que a Via Láctea pertence se chama Laniakea (que significa “universo imensurável” na língua havaiana), e contém aproximadamente 100.000 galáxias, distribuídas em 500 milhões de anos luz de diâmetro.

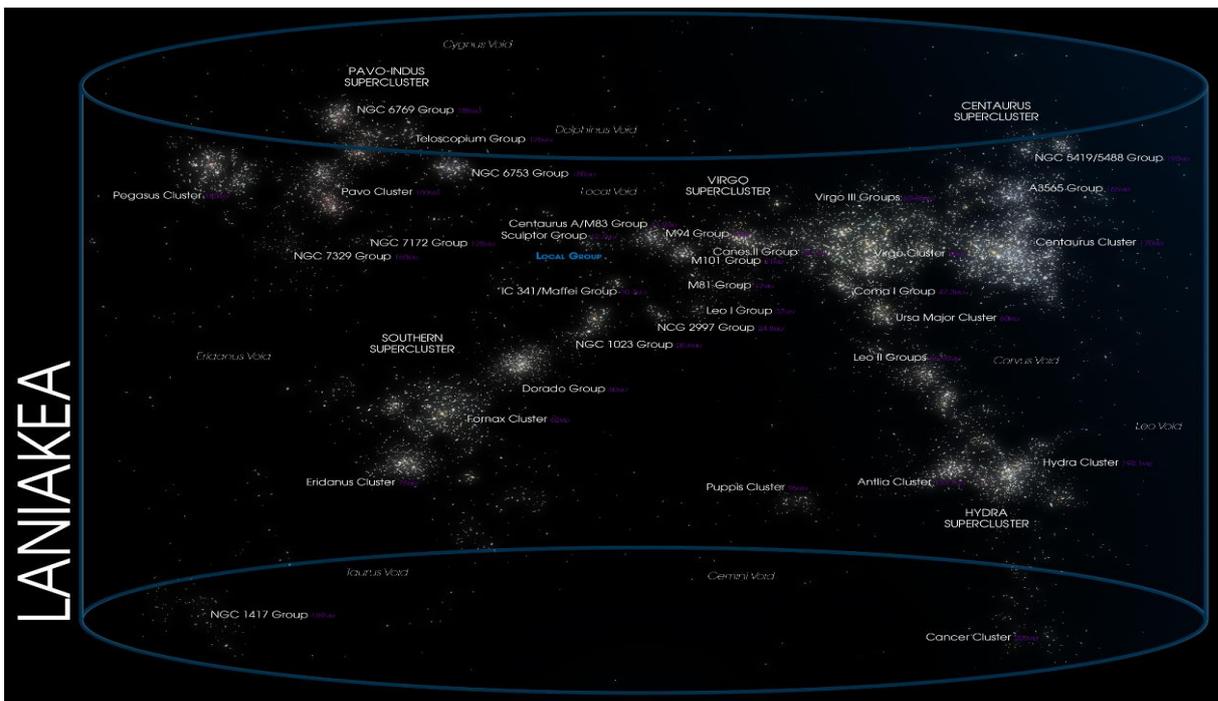


Figura 26 - O superaglomerado Laniakea abrange cerca de 500 milhões de anos-luz e contém cerca de 100.000 vezes a massa da nossa Via Láctea. Crédito: Andrew Z. Colvin.

O superaglomerado de galáxias Laniakea contém milhares de galáxias que incluem nossa galáxia Via Láctea, o Grupo Local de galáxias e todo o aglomerado de galáxias de Virgem. Anteriormente, o Superaglomerado de Virgem era a estrutura predominante, mas acabou sendo englobado pelo Laniakea depois que pesquisadores da Universidade do Hawaii publicaram uma pesquisa mostrando uma nova maneira de definir superaglomerados de acordo com as velocidades relativas das galáxias.

Uma simulação feita por cientistas mostra como possivelmente é o universo em larga escala: uma “teia cósmica” semelhante à uma esponja, com filamentos de matéria e espaços vazios.

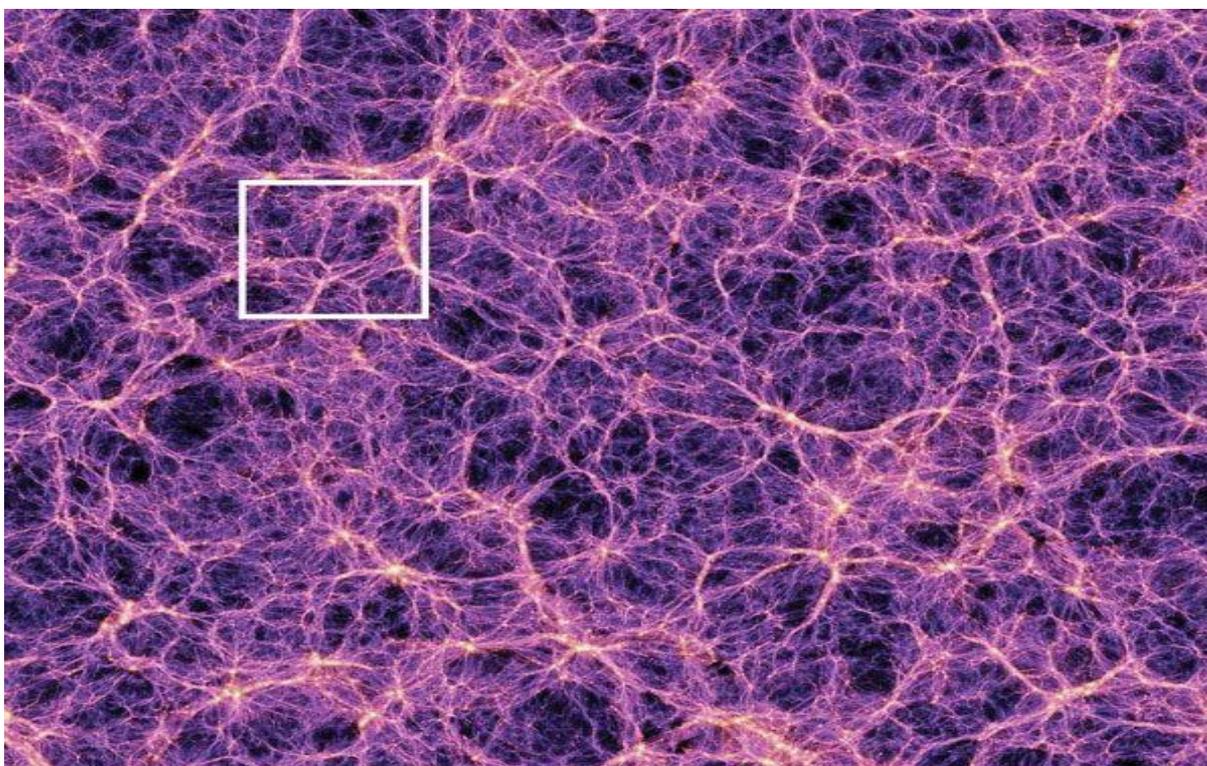


Figura 27 - A teia cósmica do Universo.

Crédito: Volker Springel / Instituto Max-Planck de Astrofísica, Garching, Alemanha.

O russo Andrei Linde (1948 -) defende a teoria da inflação caótica, segundo o qual o nosso Universo é apenas um de um multiverso eterno e infinito que gera continuamente novos universos independentes que sofrem inflação, os chamados multiversos.



Figura 28 - O multiverso: múltiplos universos que se chocam.  
Crédito: Detlev Van Ravenswaay / Livraria Fotográfica / Corbis.

# 5 A POLUIÇÃO LUMINOSA

## 5.1 A DIFÍCIL TAREFA

O avanço da tecnologia permitiu estudos mais detalhados sobre o universo, aumentando nosso conhecimento. Aos poucos o homem foi construindo seus olhos fora do nosso planeta, já que a tarefa de observar para fora da Terra é dificultosa porque depende de vários fatores, como as condições atmosféricas do local, que podem causar bloqueios no céu, impedindo a visibilidade dos astros. Esses bloqueios podem ser causados por fenômenos naturais, como a presença luminosa do Sol, chuva, neve, atmosfera com alta taxa de umidade (nuvens) ou em decorrência dos impactos dos processos gerados pelo homem na natureza, como a poluição atmosférica residual (queima de combustíveis) e a poluição atmosférica luminosa (excesso de luz da cidade).

## 5.2 A ORIGEM DA POLUIÇÃO LUMINOSA

O que é a poluição luminosa? Como surgiu?

A poluição luminosa pode ser definida como qualquer alteração no meio ambiente e nos seres humanos causada pela luz artificial excessiva ou mal direcionada. Houve um tempo em que as pessoas podiam olhar para o céu à noite e ver uma quantidade enorme de estrelas, e com pequenos telescópios, Nos tempos de hoje (2018), as novas gerações urbanas já se acostumaram e se adaptaram com o planeta como ele é: todo iluminado à noite, mas com péssimas condições de observação astronômica. Para entender a origem da poluição luminosa devemos analisar o contexto histórico de sua aparição, que se deu no período de desenvolvimento da energia elétrica no mundo e da iluminação pública e a consequente expansão da utilização no Brasil. Para tanto, na seção 5.2.1 será abordado a história da energia elétrica mundial, e na seção 5.2.2, a história da energia elétrica e da iluminação pública no Brasil.

### 5.2.1 A história da energia elétrica no mundo

(Textos extraídos de “Faísca: pelos caminhos da Eletricidade um guia didático para visitas à Escola da Ciência-Física”, de Carlos Alberto Firmino dos Santos e Lígia Arantes Sad)

#### Texto 3 – De Gilbert a Franklin: das máquinas eletrostáticas aos fios elétricos

O cientista William Gilbert (1544- 1603), foi um médico da realeza inglesa e realizou vários experimentos. Utilizou vidro e resinas (borrachas, âmbar etc.) atritando-os a fim de que atraíssem objetos leves. Para designar o fenômeno, Gilbert criou o termo elétrico, derivado de *élektron*, palavra grega que significa âmbar. Foi a partir destas experiências que os corpos depois de atritados passaram a ser denominados corpos eletrizados ou corpos carregados de eletricidade.

Após a morte de Gilbert e, passadas algumas décadas, o alemão Otto Von Guericke (1602-1686), uma espécie de prefeito ou administrador da cidade de Magdeburgo, na Alemanha, se dedicava, além de governar a cidade, a experimentos científicos. Por meio da retomada das experiências de Gilbert, ele inventou uma bomba pneumática, para criar o vácuo no interior de duas meias esferas. Após ele fazer demonstrações para o imperador alemão na época, o que lhe trouxe credibilidade, continuou com suas experiências, em tentar acumular energia no interior da esfera. Era a primeira máquina eletrostática, em que a eletricidade podia ir de um ponto a outro (esfera) e se acumular de maneira estática, imóvel, e que vários objetos podiam ser atraídos por ela e a carga de eletricidade podia passar de um objeto a outro.

O inglês Stephen Gray (1666-1736), um londrino de poucos recursos financeiros, patrocinado por um amigo rico e interessado em suas pesquisas, descobriu que a eletricidade podia ser conduzida a outro ponto por diversos materiais, ressaltando que alguns materiais conduziam e outros isolavam a energia, ou seja, uma carga elétrica podia ser conduzida a outro dependendo das substâncias utilizadas, algumas condutoras

e outras isolantes. O desenho mostra uma das experiências mais famosas de Gray. Um garoto suspenso por cordas de seda (isolante), ser carregado eletricamente (por um tubo de vidro) e então como um corpo (condutor), poderia atrair pequenos objetos – eletrostaticamente –.

O cientista francês, décadas mais tarde, Charles François Du Fay (1698-1739), que ao longo de sua vida publicou vários livros sobre eletricidade que influenciaram a Ciência na França, descobriu duas classes de eletricidade distintas: as cargas elétricas que se atraem e as que se repelem. Às duas classes Du Fay denominou de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa. Essas ideias perduraram até a descoberta do elétron por Thompson no final do século XIX

Já o americano Benjamim Franklin (1706-1790), filho de imigrantes ingleses, não teve formação acadêmica, mas foi uma figura que trouxe grande contribuição à História da Eletricidade, formulou algumas teorias para explicar os fenômenos elétricos. De família simples, com mais 16 irmãos, ele gostava muito de ler e adquiriu uma boa cultura. Trabalhou em jornais de Boston e Filadélfia e tomou conhecimento dos experimentos sobre a Garrafa de Leyden (um capacitor de armazenamento de energia) pelos periódicos científicos que recebia de Londres e de suas amizades com importantes pesquisadores da época. Franklin se tornou um importante político na Colônia e paralelamente desenvolveu diversas pesquisas na área da eletricidade.

Franklin, fazendo experiências com a garrafa, observou as faíscas que saíam dela comparando-as aos relâmpagos e levantando questões sobre a existência de eletricidade no céu, ou seja, eletricidade atmosférica. O que mais tarde foi comprovada por Franklin, a partir de muitos experimentos com a garrafa, observações e uso de varas de ferro - que mais tarde se tornariam os para-raios. Suas experiências foram desenvolvidas por vários pesquisadores na Europa e uma das mais significativas, ainda hoje, encontra-se envolta em polêmica, a experiência com o papagaio e a chave em meio a tempestade (se foi verdade ou não).

#### Texto 4 - Eletroímã: história e aplicações práticas

Muitos cientistas supunham que havia uma relação entre o magnetismo e a eletricidade, mas foi o professor dinamarquês Hans Christian Oersted (1771-1851), conhecido posteriormente como o Pai do Eletromagnetismo, que, casualmente, durante uma de suas aulas, fazendo experiência com a pilha de Volta, observou que uma agulha magnética colocada sobre a mesa, movia-se quando ele fechava um circuito sobre a pilha. Por meio de experimentos posteriores, Oersted estabeleceu relação entre correntes elétricas e magnetismo, o que levou ao rápido desenvolvimento da eletricidade prática com a construção de eletroímãs, motores elétricos, geradores mecânicos de energia elétrica, telégrafos e telefones. O eletromagnetismo desempenha um importante papel no funcionamento dos aparelhos elétricos e na própria produção de eletricidade.

Cabe um destaque para o nome do cientista francês André-Marie Ampère (1775-1836), que construiu o primeiro eletroímã, e do inglês, Michael Faraday (1791-1867), contribuindo por meio de suas experiências, na blindagem metálica dos aparelhos eletroeletrônicos evitando descargas elétricas em seu exterior, bem como, na indução eletromagnética, responsável na geração de energia elétrica dos geradores mecânicos. Ampère foi professor de Física e Química em Lion, França. Teve um primeiro contato com o trabalho de Oersted por meio de uma cópia de um artigo científico que chegou na Escola Politécnica de Paris, onde lecionava. Ele, por meio de inúmeras experiências, descobriu que o magnetismo de um fio que transportasse uma corrente elétrica estava espalhado por todo o fio. Isso criava um campo magnético. Verificou que se dois fios transportando corrente elétrica na mesma direção ou contrária os campos magnéticos se atraíam ou repeliam, respectivamente. Desta forma, Ampère, foi levantando hipóteses sobre a força magnética e sua capacidade de atração chegando ao princípio do eletroímã. Em 1860, apareceu a primeira proposta viável, para construção de geradores e motores, idealizada pelo físico italiano Antonio Pacinotti (1841- 1912), aperfeiçoada, em 1869, pelo eletricitista belga Zénobe Gramme (1826-1901), criando,

assim, um dínamo eficiente que tornou possível a utilização da energia elétrica, por meio da conversão da energia mecânica.

### Texto 6 – A pilha: de Galvani a Volta

Alessandro Volta (1745-1827) foi professor da Universidade de Pávia, na Itália. Recebeu o título de conde, conferido por Napoleão Bonaparte. A invenção da pilha por Volta originou-se de uma observação do biólogo/médico italiano Luigi Galvani (1737-1797), professor de Anatomia da Universidade de Bolonha. Certa ocasião, Galvani pendurou pernas de rã, por meio de ganchos de cobre, a um suporte de ferro, com a finalidade de secá-las para suas experiências. Devido ao vento as pernas balançavam, e Galvani notou que, cada vez que as pernas tocavam o suporte de ferro, elas se contraíam. Galvani atribuiu as contrações a uma corrente elétrica produzida pela rã. Galvani passou a defender, a partir de tal momento, uma teoria que tentava explicar esse fato: a teoria da “eletricidade animal”. Segundo Galvani, os metais eram apenas condutores da eletricidade, que na realidade estaria contida nos músculos da rã. Volta não concordou com o amigo, explicando que a corrente elétrica era originada pela existência de dois metais diferentes em contato com substâncias ácidas existentes no corpo da rã. Para demonstrar sua teoria, construiu a primeira pilha. A pilha original inventada por Volta tinha a seguinte disposição: um disco de cobre, sobre ele um disco de pano embebido em ácido sulfúrico diluído em água e um disco de zinco; sobre este, outro disco de cobre e assim por diante, formando um conjunto de discos empilhados uns sobre os outros. Daí o nome pilha elétrica. Aos discos nas extremidades ligam-se fios condutores que são os terminais da pilha. Posteriormente, Volta apresenta a Napoleão e a cientistas franceses sua grande invenção. Nos dias atuais sabemos que o que ocorre em uma pilha, como essas criadas por Volta, é que a eletricidade tem seu fluxo do polo negativo, denominado ânodo, que se oxida, perdendo elétrons para o polo positivo, chamado de cátodo, que se reduz, ganhando elétrons. Essas pilhas feitas em solução aquosa não são muito usadas hoje em dia. Mas elas foram o princípio que desenvolveu as pilhas modernas que conhecemos atualmente como pilhas secas. Essas são bem mais práticas

para usar e transportar, além de fornecer uma corrente elétrica satisfatória por muito mais tempo. Porém, é preciso ficar atento, pois, o conteúdo do interior da pilha é tóxico e pode causar danos à saúde de humanos e animais, e ao meio ambiente. Seu descarte deve obedecer às normas estabelecidas a fim de dar uma finalidade correta sem causar grandes prejuízos.

### Texto 7 – A lâmpada: a história iluminada

Um importante invento que envolveu o trabalho de vários pesquisadores ao longo da história, foi a lâmpada elétrica. Foi um conjunto de descobertas que, aperfeiçoadas, levaram à sua invenção. Quando entramos em nossa casa e com um simples toque no interruptor iluminamos a sala, cozinha e quartos, nem passa pelo pensamento o longo caminho histórico para se chegar a esse invento. O funcionamento de uma lâmpada incandescente baseia-se no efeito térmico, ou seja, a corrente elétrica atravessa o condutor, e o choque entre os elétrons causa aquecimento do filamento transformando a energia elétrica em térmica.

No início do século XIX, o químico inglês Humphry Davy (1778-1829) inventou a lâmpada de arco voltaico, porém, além de alto consumo de energia, a duração de sua luminosidade era curta e sem controle. Depois de passar por aperfeiçoamentos de vários pesquisadores, o americano Thomas Edison (1847-1931) aprimorou a invenção e chegou ao resultado de uma lâmpada de alto vácuo e de filamento de carvão. Edison pesquisou obstinadamente por muitos anos, e com seus assistentes testaram mais de 1600 tipos de materiais do mundo todo que servisse aos seus propósitos. O grande problema enfrentado por Edison foi a queima do filamento muito rápido, pois podia produzir luz, mas também calor. Enfim, em 1879, ele conseguiu. O material utilizado foi bambu e papel carbonizado. Foi a partir dessas ideias que a humanidade teria a luz elétrica. Claro que o aperfeiçoamento da invenção não parou por aí. Depois de inúmeros melhoramentos novos tipos de filamentos foram testados até chegar ao tungstênio e aos materiais atuais como os utilizados pelas lâmpadas fluorescentes, led, etc.

Michael Faraday, por meio de suas experiências com a indução eletromagnética, descobriu que poderia gerar corrente elétrica por meio de uma bobina e um ímã. É o princípio básico de funcionamento dos geradores mecânicos de energia elétrica. A corrente elétrica gerada nesse processo pode variar de intensidade, sendo chamada de corrente alternada. Diferente das pilhas, que tem um processo contínuo de liberação e energia. Pensando em um gerador bem maior, pode-se citar o funcionamento das usinas hidrelétricas, grandes geradoras de energia elétrica para uso geral na sociedade, desde residências às grandes indústrias e comércio. A rotação da bobina é obtida por meio da rotação das turbinas. A energia gerada é proveniente da força das águas represadas em barragens. A queda d'água faz as turbinas girarem transferindo a energia para os geradores. Toda a energia obtida nessas usinas é transmitida por meio de linhas de transmissão de alta tensão em que é necessário o uso de transformadores para equilibrar essas tensões elétricas. Para a implantação de uma usina é preciso fazer um grande reservatório de água. Para isso uma grande área é inundada causando impactos no meio ambiente pela extensão da represa, principalmente a fauna aquática. O prejuízo é incalculável também para as populações ribeirinhas que tem na pesca sua principal fonte de alimentação ou atividade econômica. Além disso, em vários lugares a população tem que ser removida para outra área para dar lugar aos gigantescos reservatórios. A flora da região também é atingida, a inundação destrói a cobertura vegetal nativa, sem falar dos grandes desmatamentos realizados em momentos anteriores para “limpar” o terreno. A fauna da região é atingida fortemente, pois os animais, com a inundação, precisam ser retirados de seu habitat para regiões que muitas vezes não se adaptam ou que não há meios de sobrevivência para todos condenando-os à morte. Muitas dessas regiões inundadas, também fizeram desaparecer partes de reservas indígenas atingindo sua população negativamente em muitos aspectos, colocando-os em constante conflitos com os interesses capitalistas nas regiões. Os reservatórios também encobrem parte da história das regiões, casarios, ruínas de igrejas antigas, artefatos arqueológicos, entre outros. Por isso, a implantação de uma usina, deve ser planejada, desde as suas origens,

considerando os aspectos socioambientais e as formas de amenizar as questões pontuadas neste texto.

### 5.2.2 A história da iluminação pública e da energia elétrica no Brasil

A necessidade da luz vem desde a época em que os povos indígenas habitavam o Brasil, antes da vinda dos portugueses. Tochas e fogueiras acesas com técnicas primitivas de fazer fogo, e a luz da Lua, eram as únicas fontes de iluminação à noite.

Quando Portugal deu início ao processo de colonização do Brasil, passou a alterar os hábitos e costumes dos nativos, utilizando as formas de iluminação europeias, como lamparinas que funcionavam com combustível à base de óleo animal ou vegetal. Um desses combustíveis, o óleo de oliva, era fabricado apenas na Europa, e somente os ricos o utilizava por causa do alto preço gerado pela importação, o que levou a ser substituído por outros óleos extraídos de plantas encontradas no Brasil, como a mamona e o coco. Velas feitas de cera de abelha e gordura, também faziam parte da lista de produtos de maior custo. Óleos de origem animal (baleia e peixes) vieram logo em seguida, mas ainda assim existiam vários produtos caros que não eram de acesso à população pobre.

Em meados do século XVI e no início do século XVII, a cidade do Rio de Janeiro continha pouca iluminação noturna, proveniente de janelas, candeeiros, lamparinas ou velas voltadas para o interior das construções, que fazia os habitantes a terem apenas hábitos diurnos, recolhendo-se em casa cedo, fechando as portas e evitando saídas noturnas. Os primeiros registros de iluminação externa foram no início do século XVIII, quando surgiram os primeiros oratórios com velas nas esquinas da cidade. Em 1763, quando o Rio de Janeiro se tornou capital da colônia, surgem os primeiros lampadários suspensos na frente de alguns edifícios e igrejas, que foram considerados a primeira iniciativa de iluminação pública. A maioria da iluminação estava presente em candeeiros suspensos para iluminar as imagens dos santos.



Figura 29 - Oratório do Santo Antônio do Relento (1710).  
Fonte: <http://www.seaerj.org.br>

Quase três décadas se passaram até que em 1790 se contabilizava no Rio de Janeiro 73 lampadários à base de óleos animais e vegetais que eram mantidos com recursos e mão de obra da população. Só quanto anos mais tarde, em 1794, a iluminação pública passou a ser de responsabilidade do poder público.

Com a vinda da família real de Portugal para o Brasil em 1808, a região central do Rio recebeu lampiões e a estrada e o próprio Palácio da Quinta da Boa Vista, onde D. Pedro fixou sua residência oficial.

São Paulo iniciou uso de lampiões públicos de azeite na iluminação das ruas em 1830, o que possibilitou o desenvolvimento da vida noturna.

Mais tarde, em 1854, o Rio de Janeiro inaugurava a primeira usina de processamento de carvão mineral, que deu início ao sistema de iluminação a gás. Assim, o Rio se tornou a primeira cidade da América do Sul a receber iluminação pública a gás. Posteriormente, no ano de 1874, foi a vez da cidade de Porto Alegre colocar postes de iluminação pública a gás, na Praça da Matriz.

A primeira cidade a ter luz elétrica nas ruas foi a cidade de Campos, no Rio de Janeiro, quando a instalação de uma usina termoelétrica em 1883 iniciou a produção de energia

elétrica, o que fez Campos ser pioneira nesse ramo. Logo depois, Rio Claro, no estado de São Paulo, também aderiu ao mesmo sistema, fazendo com que a cidade fosse a segunda do Brasil a ter luz elétrica. Somente em 1904 a cidade do Rio de Janeiro implantou o serviço de iluminação pública nas ruas. Já em São Paulo, a iluminação chegou no ano seguinte, em 1905.

A instalação de um dínamo na Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II, no Rio de Janeiro, em 1879, foi o marco da energia elétrica no Brasil. Ainda em 1879, o mundo conhece a lâmpada elétrica inventada pelo norte-americano Thomas Edison. Sob domínio do Império, D. Pedro II coloca em funcionamento o primeiro equipamento de iluminação elétrica permanente do país com seis lâmpadas, alimentadas por dois dínamos que iluminaram a Estação Central por sete anos. A primeira usina do Brasil é uma termoelétrica a vapor, com 52 quilowatts (kW) de potência instalada no então distrito de Campos, no Rio de Janeiro, pioneiro na utilização de iluminação pública.

Problemas gerados pelo crescimento das cidades criaram uma maior demanda por iluminação pública. A falta de luz à noite nas ruas tem contribuição significativa para a prática de crimes e a insegurança pública.

### 5.3 A POLUIÇÃO LUMINOSA DAS CIDADES

A luz gerada pelas cidades tem se tornando um problema muito grande para o nosso planeta. Essa luz chega até nossos olhos e consegue sensibilizar o nosso globo ocular, que tem a reação de contrair a pupila, estrutura do olho que controla abertura que abre caminho para a entrada de luz. Quanto mais fechada a pupila, menos luz é captada pelos olhos, e como resultado, enxergamos menos os objetos pouco luminosos.

Parte da luz proveniente de fontes artificiais (lâmpadas, etc.) é refletida pelo chão ou direcionada diretamente para o céu, fazendo a interferência com a fraca luz que vêm dos corpos celestes, impossibilitando-nos de enxergar a maioria deles. Além disso, essas luzes interagem com a poluição atmosférica, iluminando as partículas que se encontram

em suspensão no ar, que bloqueiam as luzes provenientes dos astros, ocasionando a redução do número de astros observáveis nos céus noturnos. Toda a iluminação artificial utilizada de modo excessivo ou mal direcionada que causa efeito adverso ao meio ambiente e aos seres humanos provoca a chamada Poluição Luminosa.

Exemplos claros de fontes de poluição luminosa são os letreiros luminosos de propagandas, refletores, faróis e lanternas de veículos, mas principalmente é oriunda dos postes de iluminação pública.

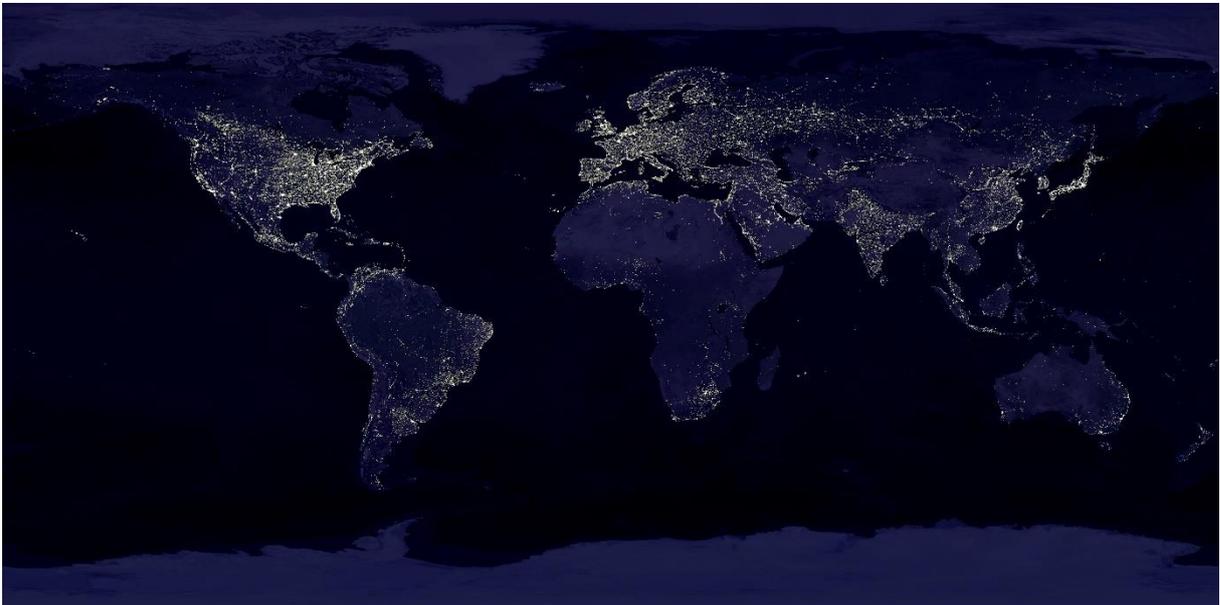


Figura 30 – Um panorama da poluição luminosa mundial.

Fonte: [https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/55000/55167/earth\\_lights\\_lrg.jpg](https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/55000/55167/earth_lights_lrg.jpg)

Segundo o Laboratório Nacional de Astrofísica do Brasil, podemos classificar a poluição luminosa em três categorias:

- Brilho do céu (sky glow): é o aspecto alaranjado do céu, causado pelas luzes indevidamente direcionadas para o alto. É pior em áreas com alta concentração de poluição atmosférica. O uso de lâmpadas de vapor de sódio mal direcionadas é o que causa o efeito de cor alaranjada. Se o brilho tender para o branco, é devido ao uso excessivo de lâmpadas de mercúrio, ainda mais nocivas ao meio ambiente.

- Ofuscamento (glare): luz excessiva e direta nos olhos, causando cegueira momentânea. É o que acontece, por exemplo, quando um carro trafega com faróis altos na direção contrária à nossa.
- Luz intrusa (trespass): é 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, como mostrado ao lado. Ou as luzes no interior das residências, que indevidamente escapam pelas janelas.

Apesar de vários apelos da comunidade científica, orientações dadas pelas Normas Brasileiras de e projetos existentes que incentivem as cidades a melhorarem as condições de iluminação noturna nas ruas, poucas prefeituras têm aderido, o que inviabiliza a população urbana de contemplar o espetáculo natural no céu.



Figura 31 - O céu visto em diferentes condições de ausência e presença da poluição luminosa.  
Crédito da imagem: Anderson Dantas

Um fator preocupante em relação à poluição luminosa é o desperdício de energia elétrica para o uso incorreto da luz artificial. Os postes de iluminação pública não-inteligentes geram a necessidade de uma quantidade maior de luz para que ilumine as ruas com eficiência, já que a boa parte da luz é dispersa para a atmosfera. Este tipo de projeção de iluminação não traz qualquer vantagem ou benefício aos cidadãos, que só usufruem

da porção de luz que é direcionada para o chão. Isso acarreta uma quantidade maior de lâmpadas e postes, sendo um gasto energético desnecessário com custos que se podem considerar elevados, e que saem integralmente do bolso dos contribuintes.

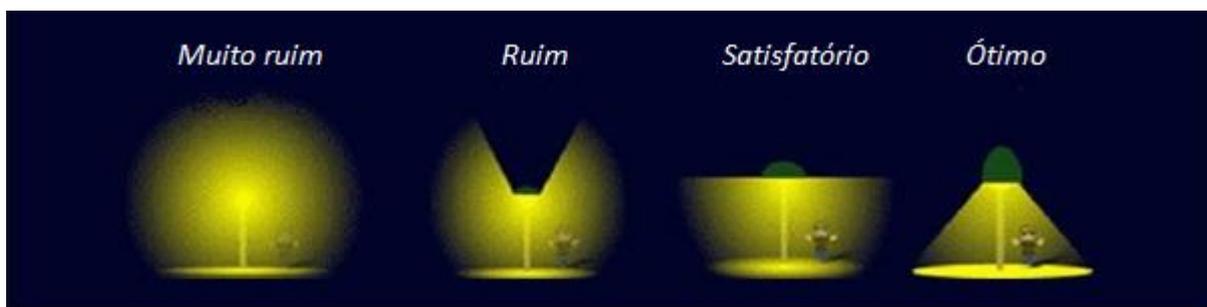


Figura 32 - Tipos de postes de iluminação pública. A direção da luz pode ocasionar uma poluição luminosa.  
Fonte: <http://www.astronomoamador.net/2011/poluicao-luminosa>

A Constituição Federal do Brasil publicada em 1988 delega a responsabilidade sobre a iluminação pública aos municípios, que por sua vez podem terceirizar essa tarefa para empresas privadas, a critério de cada administração. Mesmo terceirizada, quem responde pela iluminação ainda é do município, que deve assegurar eficiência, já que o custo para a manutenção vem dos impostos pagos por toda a população.

A cobrança de iluminação pública é respaldada pelos artigos 30 (incisos III e V) e 149A da Constituição Federal de 1988, que dizem:

Art. 30. Compete aos Municípios:

III - instituir e arrecadar os tributos de sua competência, bem como aplicar suas rendas, sem prejuízo da obrigatoriedade de prestar contas e publicar balancetes nos prazos fixados em lei;

V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial;

O artigo 30 ainda prevê em seu inciso II: “suplementar a legislação federal e a estadual no que couber”. Uma outra lei nacional aprovada pelo presidente Fernando Henrique

Cardoso em 2002 (lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002) afirma em seu artigo primeiro que:

Art. 1 - Os custos, inclusive de natureza operacional, tributária e administrativa, relativos à aquisição de energia elétrica (kWh) e à contratação de capacidade de geração ou potência (kW) pela Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial - CBEE serão rateados entre todas as classes de consumidores finais atendidas pelo Sistema Elétrico Nacional Interligado, proporcionalmente ao consumo individual verificado, mediante adicional tarifário específico, segundo regulamentação a ser estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel.

Com base nas legislações nacionais, a iluminação pública é regulamentada no município de Linhares pela lei nº 2.331, de 30 de dezembro de 2002 que: “Institui no Município de Linhares a contribuição para custeio dos serviços de iluminação pública - COSIP, e dá outras providências”, que assegura as seguintes taxas em relação ao consumo:

1) GRUPO "B" - CLASSE RESIDENCIAL (BAIXA RENDA)

| CONSUMO              | PERCENTUAL DE ACRÉSCIMO |
|----------------------|-------------------------|
| 0 a 30 kWh/mês       | 1,82 %                  |
| De 31 a 50 kWh/mês   | 1,93 %                  |
| De 51 a 70 kWh/mês   | 2,34 %                  |
| De 71 a 100 kWh/mês  | 2,72 %                  |
| De 101 a 150 kWh/mês | 4,20 %                  |
| De 151 a 180 kWh/mês | 5,25 %                  |

## 2) GRUPO "B" - CLASSE RESIDENCIAL

| CONSUMO              | PERCENTUAL DE ACRÉSCIMO |
|----------------------|-------------------------|
| De 0 a 30 kWh/mês    | 2,81 %                  |
| De 31 a 50 kWh/mês   | 3,05 %                  |
| De 51 a 70 kWh/mês   | 3,90 %                  |
| De 71 a 100 kWh/mês  | 6,01 %                  |
| De 101 a 150 kWh/mês | 8,60 %                  |
| De 151 a 200 kWh/mês | 12,61%                  |
| De 201 a 300 kWh/mês | 15,44 %                 |
| De 301 a 400 kWh/mês | 21,20 %                 |
| De 401 a 500 kWh/mês | 24,52 %                 |
| Acima de 500 kWh/mês | 28,94 %                 |
| Veranista e Turista  | 12,61 %                 |

Os governantes brasileiros se isentam da responsabilidade de arcar com esse custo, e atribuem esse dever diretamente ao cidadão. Mas se a população deve pagar, e é ela quem vai usufruir dos seus benefícios, a iluminação pública deve ser discutida em audiências públicas e escolhida pela própria população, e tal escolha deve incluir exigências mínimas incontestáveis, como um bom nível de uma iluminação adequada, que tenha maior eficiência e durabilidade, e principalmente, que respeite uma das tradições primordiais da humanidade que hoje está sendo extinta devido à ação da poluição luminosa: observar o universo a olho nu.

Com todos esses problemas, o Brasil se encontra entre os grandes poluidores mundiais, mas a maior concentração de poluição luminosa está nos EUA, na Europa e no Japão. Segundo um estudo publicado na revista "Science Advances" feito pelo Instituto de Tecnologia e Poluição Luminosa na Itália em junho de 2016, cerca de 83% da população do mundo, incluindo mais de 99% das pessoas na Europa e nos EUA, moram em áreas cercadas pela poluição noturna geradas por luzes elétricas. Isso faz com que mais um terço das pessoas do mundo não consiga ver as luzes da Via Láctea.

O crescimento e o desenvolvimento das cidades e das desigualdades sociais que geraram as violências urbanas no século XX e no início do século XXI acarretaram uma demanda maior de segurança para manter a ordem pública, o que implicou na necessidade de

mais iluminação noturna para as ruas. Coincidentemente, o avanço tecnológico possibilitou a acomodação da população em procurar o lazer dentro de suas residências e condomínios. Programas simples, como contemplar os astros no céu, aos poucos foram deixados de lado por essas últimas gerações.

#### 5.4 IMPACTOS DA POLUIÇÃO LUMINOSA

A poluição luminosa gera impactos econômicos, sociais e ambientais, vejamos alguns:

a) Impactos ambientais

- Desorienta as tartarugas marinhas e as desvia da rota de desova na praia, uma vez que as luzes artificiais afastam os filhotes que eclodem na areia de encontrarem o mar, que detectam o caminho pelo horizonte brilhante sobre o oceano;
- Reduz a visibilidade dos vaga-lumes macho, que são atraídos pelas luzes provocadas pela bioluminescência das fêmeas, prejudicando a reprodução;
- Altera o período de floração de plantas, comprometendo o equilíbrio natural na produção de frutos e de outros alimentos;
- Desorienta a migração de pássaros que se orientam pela luz da Lua ou das estrelas, além de prejudicar as espécies que caçam à noite;
- Altera o ciclo da cadeia alimentar de ecossistemas, já que os predadores usam a luz para caçar e as presas usam a escuridão para se esconder, o que causa um desequilíbrio ecológico;
- Gera resíduos poluentes no descarte de lâmpadas que contém elementos químicos que degradam o meio ambiente, como o mercúrio, sódio, chumbo, bário cádmio, índio, estrôncio e vanádio.

b) Impactos sociais

- Inviabiliza a pesquisa em astronomia, com a interferência destrutiva da luz artificial com a fraca luz proveniente dos astros distantes de baixa visibilidade;
- Incomoda as pessoas dentro de suas residências com a presença da luz intrusa, que pode causar desconforto e alterar hábitos normais, como assistir um filme no escuro ou até mesmo dormir sem a presença de luz;
- Pode promover cansaço visual, causando sonolência, dor de cabeça e stress;
- Pode gerar acidentes de trânsito em decorrência do uso excessivo de luminosidade nos faróis, como em veículos que possuem faróis com lâmpadas de gás xenônio, popularmente chamados de lâmpadas xenon.

c) Impactos econômicos

- Promove o desperdício de energia elétrica, já que a luz que é direcionada para o céu não tem serventia.

A rotação do nosso planeta favorece tanto a possibilidade de termos uma visão noturna para daqui observarmos o universo quanto a oportunidade de termos um equilíbrio no ecossistema que persiste para que não entre pouco a pouco em extinção. Equilíbrio que perdurou até pouco tempo atrás, quando o homem começou a usar de forma irracional a iluminação noturna, o que nos tira a curiosidade de saber o que há no Universo.

São muitos os impactos negativos que a poluição luminosa gera na sociedade e no nosso planeta, mas essa situação é reversível. Espera-se que com a difusão do conhecimento sobre poluição luminosa e suas consequências, os gestores das cidades aprimorem a visão sobre a iluminação pública e invistam em tecnologia para frear esse crescimento desordenado de utilização errada da luz artificial durante as noites.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. L. A Poluição Luminosa, suas implicações na ciência e na sociedade. 2017. Dissertação de Mestrado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BERGMANN, T. S. et al. Buracos negros. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/buracos-negros/#dgeral>>. Acesso em: 19/08/2018

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>

Acesso em: 20/06/2016

BRASIL. Decreto-lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/2002/L10438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm)> Acesso em 20/06/2016

DEBOM, C. R. Astronomia para o ensino médio [recurso eletrônico] / – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2012. Disponível em: <[http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n26\\_Debom/index2.htm](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n26_Debom/index2.htm)> Acesso em: 10/05/2018

DOMINICI, T. Poluição Luminosa. Disponível em: <<http://poluicaoluminosa.blogspot.com/>>. Acesso em: 12/05/2018

DOMINICI, T.; GARGAGLIONI, S. Laboratório Nacional de Astrofísica. Disponível em: <<http://www.lna.br/lp/>>. Acesso em: 21/06/2018

DOMINICI, T.; RANGEL, M. F. Uma discussão sobre os mecanismos de

proteção do patrimônio em relação aos efeitos nocivos da poluição luminosa.

Belo Horizonte: 1º Simpósio Científico ICOMOS, Brasil, 10 a 13 de maio, 2017

FALCH, F. et al. The New World Atlas of Artificial Sky Brightness. Disponível em: <<https://cires.colorado.edu/artificial-sky>>. Acesso em: 21/06/2018

História da Iluminação. Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/ilume/historia/index.php?p=312>>. Acesso em 20/06/2016

KEPLER, S.O. O Universo como um Todo. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/univ/>>. Acesso em: 10/05/2018

KEPLER, S.O; SARAIVA, M. DE F. O. Astronomia e Astrofísica. 1. ed. Porto Alegre: Departamento de Astronomia - Instituto de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

LINHARES. Decreto nº 2.331 de 30 de dezembro de 2002. Institui no município de Linhares a contribuição para custeio dos serviços de iluminação pública - COSIP, e dá outras providências. Disponível em: <<http://legislacaocompilada.com.br/linhares/Arquivo/Documents/legislacao/html/L23312002.html>> Acesso em: 20/06/2016

MOURÃO, R.R. de F. O livro de ouro do Universo. Rio de Janeiro: PocketOuro, 2010

MULLER, A. M.; SARAIVA, M. DE F. O.; FILHO, K. DE S. O. Fundamentos de Astronomia e Astrofísica para o Ensino Superior na Modalidade a Distância. Disponível em: <[http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n30\\_Muller/index3.htm](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n30_Muller/index3.htm)>. Acesso em: 10/05/2018

OLIVEIRA, G. K. C. DE. História social da iluminação: a iluminação artificial do ambiente construído e o comportamento social do Brasil Colônia aos dias atuais. Revista Especialize On-line IPOG, v. 12 nº12, n. 2179–5568, p. 14 p., 2016.

SANTOS, C. A. F.; SAD; L. A. Faísca: pelos caminhos da eletricidade: um guia didático para visitas à escola da ciência-física 1a. Edição. Vitória: Editora Ifes, 2018. 65 p. (Serie de Guias Didáticos de Ciências - No. 56).

SARAIVA, M. DE F. O.; KEPLER, S.O.; MULLER, A. M. Fundamentos de Astronomia e Astrofísica para EAD. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/faad.htm>>.

SELMO, D. M. Denise's Blog: Astronomia. Disponível em: <<https://teacherdeniseselmo.wordpress.com>>. Acesso em 12/07/2018